



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

ISSN 0187-5779

# TERRA

Volumen 9

Enero-Junio de 1991

Número 1

TRABAJO  
INVITADO

INDICE

DIVISION I

**G**eneración de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional.

**JORGE D. ETCHEVERS B.,  
JOSE RODRIGUEZ S. y  
ARTURO GALVIS S.**

3

**L**a clasificación tsotsil de suelos en el paisaje cárstico de la subregión San Cristobal de Las Casas, Chiapas, México.

**LUCIANO POOL-NOVELO,  
EDITH CERVANTES-TREJO y  
SALVADOR MEZA-DIAZ**

11

Estudio edafológico del ejido de Xochimilco (Ciénega Grande).

**GLORIA ALFARO S. y  
FRANCISCO OROZCO CH.**

24

Defoliación de los cafetos resultante de algunas propiedades físicas de suelos de ladera en el oriente de Puebla y El Centro de Veracruz.

**W. GANDOY-BERNASCONI**

33

DIVISION II

**C**aptación de agua de lluvia y agroplásticos para la producción de maíz de temporal.

**JAIME RUIZ VEGA y  
MIGUEL A. CANO GARCIA**

47

Comparación de dos métodos de interpretación foliar en nogal pecanero (*Carya illinoensis*).

**MA. DEL CONSUELO MEDINA M.**

52

Sigue en la contraportada...

EDITORIAL

TRABAJO INVITADO

Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. JORGE D. ETCHEVERS B., JOSE RODRIGUEZ S. y ARTURO GALVIS S. . . . . 3

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

La clasificación tsotsil de suelos en el paisaje cárstico de la subregión San Cristobal de Las Casas, Chiapas, México. LUCIANO POOL-NOVELO, EDITH CERVANTES-TREJO y SALVADOR MEZA-DIAZ. . . . . 11

Estudio edafológico del ejido de Xoçhimilco (Ciénega Grande). GLORIA ALFARO S. y FRANCISCO OROZCO CH. . . . . 24

Defoliación de los cafetos resultante de algunas propiedades físicas de suelos de ladera en el oriente de Puebla y El Centro de Veracruz. W. GANDOY-BERNASCONI. . . . . 33

*División II: Relación Suelo-Clima-Biota*

Captación de agua de lluvia y agroplásticos para la producción de maíz de temporal: JAIME RUIZ VEGA y MIGUEL A. CANO GARCIA. . . . . 47

Comparación de dos métodos de interpretación foliar en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). MA. DEL CONSUELO MEDINA M. . . . . 52

Las dos vías de asimilación del nitrógeno en soya y otras leguminosas. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ y JUAN LUIS TIRADO TORRES.. 59

Desarrollo de normas DRIS para nogal pecanero en la Comarca Lagunera. MA. DEL CONSUELO MEDINA M. . . . . 69

Evaluación en campo de *Bradyrhizobium japonicum* en dos variedades de soya (*Glycine max* L.). A. MA. JIMENEZ J., V. OLALDE-PORTUGAL y PEÑA-CABRIALES. . . . . 79

La simbiosis *Azolla sp-Anabaena azollae* como biofertilizante en arroz. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA, RONALD FERRERA-CERRATO, JORGE D. ETCHEVERS BARRA y DAVID SOTRES RAMOS. . . . . 87

*División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo*

Efecto de la labranza tradicional y la labranza de conservación para el control de la erosión el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de temporal. L.M. MARTINEZ R. y L.M. LASSO M. . . . . 97

Desertificación en el municipio de Cuauhtémoc, Colima. MANUEL SANDOVAL VILLA y JUAN W. ESTRADA B.W. . . . . 104

COMISION EDITORA

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

MESA DIRECTIVA 1990-1992

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

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

Volumen 9-1, enero-junio 1991.

ISSN 0187-5779

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

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

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

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

INVITATIONAL PAPER

Fertilizer recommendations estimated by a systems approach. JORGE D. ETCHEVERS B., JOSE RODRIGUEZ S. and ARTURO GALVIS S. . . . . 3

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

Tsotsil soil classification on karstic landscape in the subregion SAN Cristobal de Las Casas, Chiapas, Mexico. LUCIANO POOL-NOVELO, EDITH CERVANTES-TREJO and SALVADOR MEZA-DIAZ. . . . . 11

Edaphologic study of the common of Xochimilco (Cienega Grande). GLORIA ALFARO S. and FRANCISCO OROZCO CH. . . . . 24

Coffee tree defoliation as a result of some physical properties of hillside soils in the east of Puebla and center of Veracruz, Mexico. W. GANDROY-BERNASCONI. . . . . 33

*Division II: Soil-Climate-Biota Relationship*

Microcatchments and agroplastics for the production of rainfed corn. JAIME RUIZ VEGA and MIGUEL A. CANO GARCIA. . . . . 47

Comparison of two methods of foliar interpretation on pecan trees (*Carya illinoensis*). MA. DEL CONSUELO MEDINA M. . . . . 52

The two pathways of nitrogen assimilation in soybean and other legumes. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ and JUAN LUIS TIRADO TORRES 59

Development of DRIS norms for pecan tree in the Comarca Lagunera. MA. DEL CONSUELO MEDINA M. . . . . 69

Field evaluation of *Bradyrhizobium japonicum* in soybean (*Glycine max* L.). A.MA. JIMENEZ J., V. OLALDE-PORTUGAL and PEÑA-CABRIALES. 79

The symbiosis *Azolla sp-Anabaena azollae* as biofertilizer in rice. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA, RONALD FERRERA-CERRATO, JORGE D. ETCHEVERS BARRA and DAVID SOTRES RAMOS. . . . . 87

*Division III: Use of the Soil Resource*

Effect of traditional tillage and conservation tillage for erosion control in corn (*Zea mays* L.) cultivar under temporal conditions. L.M. MARTINEZ R. and L.M. LASSO M. . . . . 97

Desertification in Cuauhtemoc, Colima, Mexico. MANUEL SANDOVAL VILLA and JUAN W. ESTRADA B.W. . . . . 104

EDITORIAL BOARD

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

BOARD OF DIRECTORS 1990-1992

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

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

Volume 9-1, January-June 1991.

ISSN 0187-5779

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

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

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

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

## EDITORIAL

Junio 1991. Dos temas han adquirido particular relevancia durante este semestre y deben ser motivo de análisis por la comunidad de expertos que constituye la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

El primero de ellos es el papel que deben jugar las sociedades científicas relacionados con el agro, en el nuevo entorno que ha ido adquiriendo el sector y, especialmente, en la manera de procurar asistencia técnica, actividad que lentamente va sufriendo un proceso de privatización.

Uno de los problemas graves a este respecto es que las metodologías de selección y transferencia tecnológica aceptadas en el modelo anterior son cuestionadas en el nuevo marco económico y de transformaciones que vive la agricultura (privatizaciones, tratado de libre comercio, etc). La Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, es decir sus socios, deben abrir un serio debate sobre el tema, puesto que no es posible permanecer ajenos ni indiferentes. TERRA tiene un papel especial que desempeñar en el futuro de esta actividad y su orientación debe ser definida con el concurso y la idea de todos los miembros.

El segundo tema que nos preocupa hondamente son ciertas políticas establecidas por sistemas responsables de ayudar al desarrollo de la ciencia y de los científicos nacionales, que tienen relación con la valoración negativa de las publicaciones que los investigadores mexicanos hacen en revistas nacionales. La Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo ha realizado un gran esfuerzo editorial para colocar a disposición de sus socios, y de la comunidad científica nacional, un órgano de difusión de altura, serio, con normas y reglamentos que se comparan con las de las publicaciones de prestigio internacional, pero que aún no puede, y no aspiran, a competir con órganos de difusión, con décadas de experiencia. Es preciso esperar a que nuestros incipientes revistas maduren y se prestigien, para lo mal necesitamos publicar lo mejor de la producción nacional particularmente aquella que va dirigida a satisfacer una necesidad de información local. Si los sistemas aludidos no reconsideran su posición actual, es evidente que los esfuerzos hechos para corregir décadas de aislamiento y comunicación se verán relegados. El gran flujo de trabajo de calidad se dirigirá hacia revistas que se publican en otras lenguas y a las cuales, por razones de costo e idioma, tienen escaso acceso nuestros asociados nacionales.

El Editor.

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL  
SUELO A.C.

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

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

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

*División II: Relación Suelo-Clima-Biota*

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

*División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo*

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

*División IV: Educación y Asistencia Técnica*

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

## GENERACION DE RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION MEDIANTE UN ENFOQUE SISTEMICO RACIONAL

Fertilizer Recommendations Estimated by  
a Systems Approach

Jorge D. Etchevers B<sup>1</sup>., José Rodríguez S<sup>2</sup>. y Arturo Galvis S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.  
<sup>2</sup>Facultad Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile,  
Santiago, Chile

*Palabras clave:* Recomendaciones de fertilización, Enfoque sistémico.

*Index words:* Fertilizer recommendation, Systems Approach.

grado de probabilidad). Tanto la demanda como el suministro y la eficiencia de los fertilizantes pueden ser estimadas mediante modelos conceptuales simples. El método ha sido aplicado en México y Chile con resultados alentadores.

### RESUMEN

Los métodos tradicionales para generar recomendaciones de fertilizantes son de carácter empírico, requieren de experimentación de campo, son costosos y de plazos relativamente largos. El presente trabajo analiza el uso de modelos conceptuales (racionales) que pueden emplearse con dicho propósito y que son de bajo costo y menor plazo. La necesidad de aplicación de fertilizantes se basa en el hecho de que la cantidad de un nutrimento que debe aplicarse al suelo está determinada por el déficit de éste en el suelo y la eficiencia de recuperación del fertilizante por el cultivo. El déficit puede ser estimado como una diferencia entre la demanda nutrimental que presenta un cultivo y el suministro del mismo elemento que aporta el suelo. La demanda es a su vez función del rendimiento potencial obtenible (con cierto

### SUMMARY

The methods commonly used by soil scientists to generate fertilizer recommendations for field crops are mostly empirical in nature; that is, they require extensive field experimentation. Field experimentation is costly and several years are required to obtain precise information. The present paper, first in a series, describes the theoretical basis for the use of a simplified conceptual model for the above mentioned purpose. Simple models are cheaper and produce results in shorter periods of time than traditional approaches. One of the simplest models is based on the fact that the amount of a given nutrient that should be applied to a crop is equal to the deficit of this nutrient in the plant-soil system, considering an efficiency factor proper for each carrier source. The nutrient deficit of the soil-plant system is estimated as the difference between crop nutrient demand and soil nutrient supply. The demand, in turn, is a function

---

Recibido 3-91.

of the potential biomass production attainable in a given site. Crop nutrient demand, as well as soil nutrient supply and fertilizer use efficiency, can be estimated by conceptual submodels. The above procedure has been tested in México and Chile with promising results.

## INTRODUCCION

La cantidad de fertilizante que debe agregarse a los cultivos se ha determinado tradicionalmente mediante la experimentación de campo (Laird, 1977). En estos experimentos se mide la respuesta de un cultivo a la aplicación de dosis crecientes de fertilizante y a partir de esta información, se obtiene una dosis óptima económica. Estos ensayos deben repetirse con cada cultivo de interés para una zona dada. Una aproximación aceptable de la dosis óptima económica solo se logra estableciendo durante varios años un número elevado de ensayos, que cubran el máximo posible de condiciones edáficas y climáticas de una región. Los rendimientos y la respuesta que se obtiene con este enfoque empírico, se explican 'a posteriori' mediante modelos estadístico-matemáticos, en los cuales se incluyen las variables experimentales de interés (dosis de fertilizante) y las variables de sitio (climáticas y edáficas).

El enfoque anterior ha servido en México para estratificar la respuesta de un cultivo en áreas de respuesta homogéneas llamadas agrosistemas, los cuales presentan condiciones relativamente uniformes de los factores incontrolables de la producción (Turrent, 1978; 1981). En otras palabras, para un mismo estrato de suelo y clima, solo se diferirá en su capacidad de suministro de nutrimentos para el crecimiento de las plantas.

El procedimiento anterior no presta mucha atención a las razones que determinan una respuesta dada, porque visualizan el proceso como un sistema en que solo se analizan las entradas (dosis de fertilizantes) y las

salidas (rendimientos) y a veces se incorporan al modelo matemático-estadístico algunas variables de sitio para ayudar a un mejor ajuste de éste, pero no fundamenta las razones de cambio de la respuesta.

Las recomendaciones así generadas tienen un carácter estático, lo cual evidentemente no es correcto, puesto que la adición de fertilizantes y enmiendas orgánicas al suelo generalmente provocan un aumento en la disponibilidad de los nutrimentos en el tiempo, lo cual significa que el suministro nutrimental del suelo es dinámico, y lógicamente deben serlo las dosis. La importancia de este hecho ha sido sólo ocasionalmente reconocido (Estrella, 1973).

El reconocimiento de que en una zona dada la respuesta a la aplicación de fertilizante es una función directa de la disponibilidad del nutriente en cuestión, es decir, del suministro por el suelo, llevó a muchos países a establecer programas para medir esta disponibilidad mediante procedimientos químicos, lo cual se conoce comúnmente como análisis de suelo (Peck *et al.* 1977; Brown, 1987).

Esta técnica requiere para su correcta utilización, que se establezcan relaciones cuantitativas entre el valor del análisis y las respuestas de un cultivo a los fertilizantes, lo cual sólo se puede alcanzar mediante una extensiva experimentación de campo (Hauser, 1970; Hauser 1973).

De lo expuesto se colige que las técnicas tradicionales requieren de un gran esfuerzo técnico y económico para generar recomendaciones de fertilización, por lo que dadas las condiciones económicas actuales de las instituciones de investigación de los países en desarrollo, responsables de generar esta información, es casi imposible reeditar las experiencias del pasado. A ello debemos agregar que desde un punto de vista agronómico, científico y académico, es conveniente explicar la naturaleza de los fenómenos de respuesta, en función de las leyes y principios que las rigen.

Por lo anteriormente señalado, y porque como técnicos, solo hemos dado una respuesta parcial a la interrogante ¿cuánto fertilizante se debe agregar a un cultivo?, nos avocamos a la tarea de buscar procedimientos alternativos para generar normas de fertilización. Estos procedimientos se basan en el entendimiento de los fenómenos que determinan la necesidad de adicionar nutrientes a los cultivos (Rodríguez, 1987, 1989, 1990). De esta manera, el objetivo del presente escrito es dar a conocer los fundamentos de un enfoque sistémico racional que se propone como alternativa de solución a la generación de recomendaciones de fertilización.

### EL MODELO GENERAL

La dosis de un nutriente que debe aplicarse a un cultivo cualquiera depende de tres subsistemas: la demanda del cultivo por dicho nutriente, el suministro de este por el suelo y de un factor de eficiencia del fertilizante que lo contenga (Cruz, 1990; Flores, 1988; Galvis, 1990; Rodríguez, 1990).

La forma más simple de expresión para estimar la dosis de un fertilizante requerido por un cultivo se puede escribir de la siguiente manera:

$$\text{Dosis de fertilizante} = \frac{\text{Demanda del cultivo} \times \text{Suministro del suelo}}{\text{Eficiencia del fertilizante}}$$

#### La Demanda

La demanda de un cultivo está directamente relacionada a su potencial productivo debido a que, como es obvio de suponer, a mayor producción de biomasa, mayor requerimiento de nutrientes tendrá la planta. Este nivel máximo de rendimiento del cultivo está dado por sus características genéticas y las limitaciones edafoclimáticas del medio en

que crece. Estas limitantes las imponen los factores no controlables del suelo y clima, ya que se supone que los factores manejables deben mantenerse en un nivel óptimo para llegar al potencial productivo.

No todos los factores edafoclimáticos afectan el potencial productivo con igual intensidad. En un modelo simplificado para la estimación del potencial productivo se seleccionan aquellos factores que, después de jerarquizados, muestren que tienen mayor efecto sobre la producción de biomasa. En la agricultura de temporal, el principal factor limitante de esta última suele ser la disponibilidad de agua para las plantas, por lo que la determinación de los potenciales productivos debe centrarse en los parámetros de clima y suelo que condicionan el régimen hídrico del suelo (precipitación, evapotranspiración y capacidad de almacenamiento de agua del suelo). La precisión de la estimación de los potenciales productivos estará determinada por la calidad y cantidad de información existente sobre clima, los suelos y los rendimientos que se obtienen bajo las diferentes condiciones edafoclimáticas.

Para estimar los potenciales productivos, pueden emplearse desde complicados modelos de simulación, hasta funciones simples. Una función simple podría ser la relación entre potenciales productivos y la cantidad de agua caída durante un período crítico para el desarrollo del cultivo (Galvis *et al.* 1988b). A falta de esta información, la experiencia y la observación bastarían para tener una primera aproximación de la magnitud de los potenciales. Sin embargo, en muchas zonas se cuenta con resultados experimentales de buena calidad que pueden aprovecharse con este propósito.

Los potenciales productivos, en general, se estiman en términos de grano, tubérculos, raíces, etc. y es necesario transformarlos a biomasa total (BT). Para ello se utiliza el índice de cosecha (IC) del cultivo que es un parámetro relativamente constante para un amplio rango de condiciones normales de

crecimiento y grupo de variedades (Flores, 1988; Galvis, 1990; Pinochet, 1988). Este índice de cosecha (IC) es la relación entre el producto económico a cosechar (RG) y la biomasa total (BT) como se puede apreciar en la siguiente expresión:

$$IC = RG / BT$$

La biomasa total (BT) se refiere a la suma del rendimiento del producto económico con base en el peso seco (RG) y el rendimiento de materia seca de la parte aérea (RPA) quedando la siguiente expresión:

$$BT = RPA + RG$$

Una vez calculada la biomasa se determina la demanda, la cual es función de un requerimiento interno, es decir, de la concentración de un nutriente cercano al óptimo fisiológico, que permite alcanzar los rendimientos máximos, si otros factores de la producción no son limitativos.

El requerimiento interno de N ( $RI_N$ ) según Greenwood (1983) estaría dado por la siguiente función empírica:

$$RI_N = 1.35[1 + 3 \exp(-0.26BT)]$$

y de acuerdo a Pinochet (1988), el requerimiento interno de P ( $RI_P$ ) será:

$$RI_P = 0.16[1 + 2 \exp(-6.21BT)]$$

Donde: BT, en ambas ecuaciones, es la biomasa total potencial y se mantendría constante para diferentes cultivares.

La demanda de un nutriente específico está dada entonces por la siguiente expresión:

$$\text{Demanda} = \frac{PP * RI}{IC}$$

donde: PP es el potencial productivo expresado en términos de biomasa seca de la parte de interés económico de la planta y RI e IC tienen el significado ya señalado. Esta

demanda se calcula para una condición en que todos los factores manejables se encuentren en un nivel óptimo.

Mediante diversos procedimientos (Flores, 1988; Galvis, 1988a, 1988b;) que no discutiremos aquí, es posible establecer los potenciales productivos de un cultivo en las diferentes unidades edafoclimáticas. Sin embargo, los rendimientos reales que se alcanzan dentro de cada unidad edafoclimática, variarán de acuerdo a la disponibilidad de agua en un año particular y a la disponibilidad nutrimental o suministro debido a que es sitio específica, ya que esta depende del historial de manejo agrícola, es decir, la secuencia de cultivos, la forma de manejo de los residuos de cosecha, la fertilización, etc. El potencial productivo se determina para condiciones de manejo óptimo y el o los factores aleatorios que no se estratifiquen 'a priori' se manejan con cierto grado de probabilidad. Por ejemplo, el 80% de probabilidad que caiga cierta cantidad de lluvia como mínimo. Este valor variará de acuerdo al riesgo que un agricultor decida correr, en el entendimiento de que mientras más alto sea el porcentaje de probabilidad seleccionado (p. ej. 90%), la estimación del rendimiento máximo alcanzable disminuirá sensiblemente debido a un menor valor del dato pluviométrico por efectos de la distribución de la probabilidad. Aunque cierto es que el agricultor arriesgará menos, también sus ganancias se verán limitadas.

Para la estimación de rendimientos máximos o potenciales de los cultivos en temporal existen otros criterios tales como: incluir la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo (Rodríguez, 1990), textura y profundidad (Laird 1965), incorporación de factores de índole socio-económicos (Volke, 1988), etc.

#### El Suministro.

El suelo, de acuerdo a sus características genéticas y principalmente al manejo que haya recibido, presenta una determinada disponibilidad nutrimental o suministro. Si

este suministro no es capaz de satisfacer la demanda impuesta por el cultivo, se genera un déficit. El objetivo de la fertilización es superar este déficit para alcanzar el potencial productivo de una unidad edafoclimática en caso de que se encuentren el resto de los factores de la producción en un óptimo.

El suministro de un nutrimento por el suelo depende de sus características y del manejo que haya recibido en el pasado, lo cual determina la actividad de tres componentes básicos: (a) el 'pool' de la solución del suelo, (b) el 'pool' activo (cinética rápida) y (c) el 'pool' pasivo (cinética lenta). Si se conocen las entradas y salidas del sistema, es posible, según Rodríguez (1990), calcular el tamaño de estos acumulado en el tiempo (TPA) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TPA = N_{E1} (1 - FN_{E1}) \sum_{t=1}^n \exp(-kt)$$

donde:  $N_{E1}$  es igual a la cantidad de nutriente (residuo o fertilizante) que entra al sistema;  $FN_{E1}$  es igual a la fracción que se acumula en el período 1,  $k$  es la constante de mineralización o de sorción y  $t$  es el tiempo. En el límite de la progresión geométrica se obtiene el tamaño del 'pool' lábil en equilibrio (TPAeq) (Rodríguez, 1990).

$$TPAeq = N_{E1} (1 - FN_{E1}) * (1/1 - So)$$

donde:  $So$  es el efecto residual.

Así por ejemplo, el suministro de N está estrechamente asociado con la mineralización de la materia orgánica, pero el del P es función de reacciones de adsorción no específicas y específicas que existen en el suelo.

Como ejemplo, mostraremos la situación del N. El suministro de N que hace el suelo a la planta, se origina de la mineralización de: (a) los residuos frescos (raíces y tallos) de las cosechas que son incorporadas al suelo, (b) los productos sintetizados por la biomasa

microbiana del suelo y (c) los productos orgánicos estabilizados en la matriz sólida del suelo o materia orgánica joven (alrededor de 25 años de haber sido incorporada al ecosistema). La materia orgánica vieja (100 años o más dentro del ecosistema), debido a su baja tasa de mineralización realiza un aporte insignificante al N disponible por las plantas (Janssen, 1984).

El 'pool' de residuos frescos (formado por un componente estructural y otro metabólico) depende de la cantidad y manejo de los residuos frescos de la cosecha. El 'pool' estabilizado, por su parte, depende del historial de incorporación de residuos y el contenido de arcilla de los suelos. De esta forma, el suministro de N, estará en función del N potencialmente mineralizable y de su constante de mineralización (Stanford y Smith, 1972).

Varios científicos han estudiado la forma de calcular estos parámetros. Así por ejemplo, Stanford y Smith (1972) propusieron la siguiente función para determinar la mineralización del N en un tiempo cualquiera ( $N_t$ ):

$$N_t = N_0 * (1 - e^{-kt})$$

donde:  $N_0$  = N potencialmente mineralizable,  $k$  = constante de mineralización y  $t$  = tiempo. Este N mineralizable puede ser ajustado para diferentes condiciones de temperatura (T) y humedad ( $\theta$ ) (Oyanedel y Rodríguez, 1977) con la siguiente función:

$$N_t = N_0 \exp 2.3(7.71 - 2.758/T)(1.110/\theta - 0.138)$$

Esta función ha sido empleada por Flores (1988) y Alvarez y Etchevers (1989) para estimar el  $N_0$  en suelos cebaderos y maiceros de la meceta central de México.

#### Eficiencia del fertilizante.

Los cultivos no pueden recuperar todo el fertilizante que se les agrega, ya que parte de este se pierde por diferentes procesos físicos, químicos y biológicos en el suelo.

Esto lleva a considerar la necesidad de calcular un factor de eficiencia. En este cálculo solo se debe tomar en cuenta factores incontrolables que influyan en procesos de lixiviación como son la precipitación y la evapotranspiración, puesto que los factores controlables como tipo, forma, época de aplicación, se encuentran en un nivel óptimo. Sin embargo, la eficiencia así calculada se puede modificar con un factor de tecnología que considere estos aspectos.

La eficiencia (EF) indica la proporción del fertilizante agregado que es recuperado por el cultivo. La situación varía según se trate de elementos móviles (N) o no móviles (P). En la no recuperación de N intervienen elementos biológicos químicos y físicos, en tanto que en las de P son solo físicos y químicos.

La eficiencia del fertilizante puede determinarse empíricamente por un método indirecto o puede estimarse con un modelo. En el caso del N, en condiciones de manejo adecuado, la eficiencia es de aproximadamente del 55%. Se ha observado que aproximadamente un 30% del N aplicado es inmovilizado (valor relativamente constante debido a que la biomasa microbiana responsable de esta transformación no cambia demasiado) es decir pasa al 'pool' activo y, estrictamente, no se pierde, un 15% se pierde por desnitrificación (proceso que depende del carbono, la temperatura y la presencia de  $\text{NO}_3^-$ ), siendo la lixiviación (L) la mayor responsable de las pérdidas (Rodríguez, 1990). Esta depende del tipo de suelo y clima y se puede estimar con el siguiente modelo:

$$L = A*(\text{Pe}/\text{Pe}*\theta)^z$$

donde: A = concentración de  $\text{NO}_3^-$  acumulado a la profundidad radical (z), Pe = percolación bajo la profundidad z y  $\theta$  = contenido volumétrico de agua. La inmovilización y la desnitrificación (45%) se suponen constantes. La eficiencia del fósforo está controlada por: (a) el paso de una fracción soluble al 'pool' pasivo del sistema P del suelo, que se expresa como una proporción del P agregado

(Pa) que permanece en el 'pool' activo (estimado como P extractable Olsen después de 24 horas, Po):

$$\text{Po} = \text{Pi} + \text{bpPa}$$

donde: Pi = P-Olsen inicial y bp = coeficiente de eficiencia; y por (b) la eficiencia con que las plantas exploran el suelo, representada por un coeficiente (AR). La relación AR/bp permite estimar la eficiencia de la recuperación de fertilizante agregado por los cultivos con diferente AR (Pinochet, 1988). Además de este coeficiente, habría que considerar un factor de eficiencia (LP) cuando la aplicación se hace localizadamente. Este factor se expresa en relación a la aplicación incorporada y varía para cada cultivo de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{EFP} = (\text{AR}/\text{bp})\text{LP}$$

Con toda la información anterior se puede construir una guía de fertilización que considere los rendimientos potenciales, el tipo de suelo, el cultivo y el tipo de manejo. Cabe señalar que el presente escrito constituye el primero de una serie de trabajos sobre la metodología propuesta. Próximamente se publicarán varios artículos en lo que respecta a las ventajas y desventajas de este enfoque en comparación con el tradicional con base en la experimentación de campo, así como la validación del mismo.

#### LITERATURA CITADA

- ALVAREZ S., M.E. y J.D. ETCHEVERS B.** 1989. Mineralización de N en suelos de la región cebadera de México Central. Memorias XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- BROWN, J.R.** 1987. Soil testing: Sampling, correlation, calibration and interpretation. SSSA special publication 21. Soil Science Society of America, Madison Wisconsin.

**CRUZ H., M.L.** 1990. Establecimiento de dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo integral simplificado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.(Tesis de Maestría).

**ESTRELLA CH., N.** 1973. Relaciones empíricas entre el rendimiento de maíz de temporal y algunos factores ambientales en la región de Chalco-Amecameca, Estado de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México (Tesis de Maestría).

**FLORES M., J.P.** 1988. Determinación de clases de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. (Tesis de Maestría).

**GALVIS S., A., J.D. ETCHEVERS B. y J. RODRIGUEZ S.** 1988a. Establecimiento de unidades edafoclimáticas. Memorias XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

**GALVIS S., A., J.D. ETCHEVERS B. y J. RODRIGUEZ S.** 1988b. Estimación del rendimiento potencial de maíz y de cebada en el estado de Tlaxcala. Memorias XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

**GALVIS S., A.** 1990. Validación de las normas de fertilización para maíz generadas con un modelo simplificado, con las obtenidas en la experimentación de campo. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. (Tesis de Maestría).

**GREENWOOD D.J.** 1983. Quantitative theory and the control of soil fertility. *New Phytol.* 94:1-18.

**HAUSER G.F.** 1970. A standard guide to soil fertility investigation on farmer's fields. *Soil bulletin 11.* FAO, Rome, Italy.

**HAUSER G.F.** 1973. Guide to the calibration of soil tests for fertilizer recommendation. *Soils bulletin 18.* FAO, Rome, Italy.

**JANNSEN B.H.** 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. *Plant and Soil* 76:297-304.

**LAIRD R.J.** 1977. Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura tradicional. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

**LAIRD R.J. y J.H. RODRIGUEZ.** 1965. Fertilización de maíz de temporal en regiones de Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Folleto técnico núm. 50. INIA, SAG. México.

**OYANEDEL, C. y J.RODRIGUEZ S.** 1977. Estimación de la mineralización de N en el suelo. *Ciencia e Inv. Agr. (Chile)* 4:33-44.

**PECK, T.R., I.T. COPE, Jr., y D.A. WHITNEY.** 1977. Soil testing. correlating and interpreting the analytical results. ASA special publication 29. American society of agronomy, Madison Wisconsin.

**PINOCHET T., D.** 1988. Modelo simplificado para la estimación de la fertilización fosforada de los cultivos. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica de Chile.

**RODRIGUEZ S.J.** 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y la cebada en el estado de Tlaxcala. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. (Documento xerografiado depositado en el centro de documentación del Colegio de Postgraduados)

**RODRIGUEZ S.J.** 1989. Desarrollo de normas de fertilización para los principales cultivos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.(Documento xerografiado depositado en el centro de documentación del Colegio de Postgraduados).

**RODRIGUEZ S.J.** 1990. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile.

**STANFORD, G. y S.J. SMITH.** 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sc. Soc. of Am. Proc. 36:465-472.

**TURRENT F., A.** 1978. El agrosistema un concepto útil dentro de la disciplina de productividad. Asuntos sobre la metodología de la investigación en productividad 3. Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

**TURRENT F., A.** 1981. El método CP para el diseño de agrosistemas. Agrociencia (México) 44:17-76.

**VOLKE H., V.** 1988. Generación de tecnología agrícola bajo condiciones de riesgo. Serie Cuadernos de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

**LA CLASIFICACION TSOTSIL DE SUELOS EN EL PAISAJE  
CARSTICO DE LA SUBREGION SAN CRISTOBAL DE  
LAS CASAS, CHIAPAS, MEXICO**

Tsotsil Soil Classification on Karstic Landscape  
in the Subregion San Cristobal de  
Las Casas, Chiapas, Mexico

**Luciano Pool-Novelo, Edith Cervantes-Trejo y  
Salvador Meza-Diaz**

Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste,  
Apartado Postal 63, 29200 San Cristóbal de  
Las Casas, Chiapas, México

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,  
Diego de Mazariegos 80, 29200, San Cristóbal de  
Las Casas, Chiapas, México

*Palabras clave:* Clasificación tsotsil de  
suelos, Relación suelo-paisaje-manejo, Paisaje  
cárstico, Textura, Color, Clasificación  
numérica de suelos.

*Index words:* Tsotsil soil classification,  
Soil-landscape-management relationship,  
Karstic landscape, Texture, Color, Soil  
numerical classification.

**RESUMEN**

En la clasificación tsotsil de suelos se refleja una fuerte relación suelo-paisaje-manejo, que en la lengua indígena adquiere excelente denominación de los elementos del paisaje y de los tipos de suelos. La topografía ejerce poderosa influencia sobre la dinámica de suelos y aguas y condiciona prácticas para su uso y manejo.

La denominación de los suelos en tsotsil está compuesta de dos vocablos que hacen referencia a las características calificativas

de textura y color sobre el sustantivo suelo. La textura es su atributo más importante. Se reportan tres agrupaciones texturales y cinco tipos de color.

Las coincidencias entre los parámetros empíricos y el patrón de agrupamiento reportado con la clasificación numérica, permiten el cotejo estadístico de la clasificación tsotsil de suelos.

**SUMMARY**

In the tsotsil soil classification, there is a strong soil-landscape-management relationship that, gains in the native language, gives rise to local names that accurately reflect landscape elements and soil types. The topography has a strong influence on water and soil dynamics and conditions practices for the management of the soils.

The soil name in tsotsil is composed of a generic term together with modifiers that define the texture and color of the soil. The texture is its most important attribute.

Recibido 7-90.

Three textural groups and five color types are reported.

The coincidences between empirical parameters and the clustering pattern obtained with the numerical classification permit the statistical comparison of the tsotsil soil classification and the numerical procedure.

### INTRODUCCION

A la llegada de los españoles, las sociedades mesoamericanas más desarrolladas ya poseían un enorme y complejo cúmulo de conocimientos acerca de la naturaleza. Parte de este conocimiento es sobre los suelos, sus características, atributos y formas de aprovechamiento (Barrera, 1988).

Este conocimiento es ignorado y frecuentemente menospreciado por la ciencia actual. Su entendimiento y valoración pueden aportar elementos para definir patrones de aprovechamiento racionales de los recursos naturales, adecuados para cada región.

La presente investigación tiene como objetivos primordiales rescatar, sistematizar y cotejar elementos del conocimiento actual de la clasificación tsotsil de suelos en los Altos de Chiapas.

### REVISION BIBLIOGRAFICA

Las fuentes etnohistóricas sobre la ciencia indígena del suelo con frecuencia son escasas, fragmentarias, esporádicas y dispersas, encontrándose en glifos, códices y tratados tardíos de diversos autores (Williams, 1975). No obstante, por medio de la tradición oral y los procesos productivos, los pueblos mesoamericanos han heredado, mantenido y acrecentado estos conocimientos en su diálogo e interacción constante con la naturaleza. Estos conocimientos son sistemáticos y organizados o susceptibles de organizar (Argueta, 1988). Las expresiones lingüísticas marcan el camino para averiguar la estructura cognoscitiva de las clasificaciones indígenas

de suelos (Williams y Ortiz-Solorio, 1981). Estas clasificaciones hechas por los indígenas respecto a los suelos no son clasificaciones pedológicas basadas en los conocimientos actuales de dicha ciencia (Hernández, 1959); su universo de estudio se dirige a la capa laborable superficial del suelo y establece, en primera instancia, la relación entre las características del suelo y las condiciones de manejo del mismo (Cervantes, 1989).

Las referencias sobre clasificaciones indígenas de suelos, en su mayoría, son pequeños capítulos de investigaciones acerca del conocimiento y las formas de aprovechamiento con que los grupos étnicos realizan sus actividades productivas en sus respectivos entornos ecológicos, y en muy contados casos se han realizado investigaciones etnoedafológicas *per sé*. Entre ellas tenemos: para el grupo Maya Yucateco a Cervera (1863), Hernández (1959), Aguilera (1959), Cuanalo (1963), Pazos (1965), Pérez (1984) y Sanabria (1986); en el grupo Náhuatl a Sahagum (1938) y Williams (1975); entre los Kekchi a Carter (1969); con los Huaves a Zizumbo y Colunga (1985) y entre los Purhépechas a Barrera (1988).

Existen diversos criterios adoptados por los grupos étnicos para nombrar y clasificar sus suelos; entre ellos es frecuente encontrar: textura, color, contenido orgánico, drenaje, salinidad, profundidad, topografía, tipo de uso y capacidad productiva (Williams, 1975 y Barrera, 1988).

La capacidad productiva es un criterio común en las clasificaciones indígenas, y los criterios usados para nombrar y clasificar a los suelos reflejan las principales características de éste sobre dicha capacidad. Una clasificación con un enfoque utilitario es de esperarse de grupos que dependían de la agricultura (Williams, 1975).

### MATERIALES Y METODOS

El paisaje cárstico ocupa el 65% de la subregión San Cristóbal de Las Casas, en dos

de sus cinco Sistemas Terrestres (Mera, 1989). El relieve del paisaje cárstico corresponde a las geofformas fósiles del cárst-trópico desarrollado bajo la influencia del clima tropical húmedo sobre los estratos calcáreos antes de la elevación del Bloque Central (Helbig, 1976). Los elementos predominantes en el paisaje son lomeríos y dolinas en diferentes grados de madurez, en donde el poljé San Cristóbal (el poljé es una pequeña cuenca endorreica que desagua por varios sumideros) se originó por un hundimiento en bloque del terreno a partir de fallas regionales (Jiménez, 1984). La hidrografía es esencialmente subterránea.

El área de estudio: el paisaje cárstico bajo agricultura intensiva en la subregión San Cristóbal de Las Casas, se encuentra en la periferia de la intersección de las coordenadas 92°40'W y 17°50'N, sobre altitudes entre 1800 y 2500 msnm (Parra y Mera, 1989). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano ( $C(w_2)(w)$ ), época seca de noviembre a mayo (García, 1973) y presencia de días con heladas y neblinas en la época seca del año (Miranda, 1950). Los tipos de suelos son principalmente rendzinas, luvisoles, acrisoles, litosoles, cambisoles y regosoles (SPP, 1981). La vegetación predominante es bosque de pino y encino (Miranda y Hernández, 1963) en mosaicos alternados con grandes extensiones de vegetación secundaria y pastizales, producto de la perturbación periódica de la vegetación en la actividad agropecuaria y forestal (Alemán, 1989). La población es predominantemente indígena tsotsil y basa su producción en actividades agropecuarias y forestales, cría de pequeños hatos de ovinos, elaboración de artesanías y otros (Alemán y López, 1989). En la actividad agrícola cultiva maíz, frijol, papa, calabaza, hortalizas, flores y frutales en diversos arreglos topológicos (Arias, 1980).

La investigación se realizó en las siguientes etapas:

#### 1. Recorridos de campo para:

- a) realizar entrevistas en tsotsil con apoyo de un traductor bilingüe Tsotsil-Español.

- b) Identificación de los elementos del paisaje que conoce el productor.

- c) Conocer los tipos de suelo identificados por el productor en cada elemento del paisaje, su denominación y características que considera para su clasificación.

- d) Registro de prácticas de manejo que el productor realiza en cada uno de los elementos del paisaje y en cada tipo de suelo.

2. Valoración de la fertilidad relativa del suelo en las diferentes condiciones agroambientales, en parcelas ubicadas en diferentes posiciones en el paisaje y bajo diferentes condiciones de manejo, según se puede ver en el Cuadro 2, tomando 22 muestras compuestas de la capa laborable del suelo, mediante un muestreo sistemático en dos ejes perpendiculares entre sí (Petersen y Calvin, 1965). Las determinaciones físicas y químicas se realizaron en laboratorio con los métodos convencionales (Black, 1965 y Jackson, 1976). Los resultados de los análisis se usaron para cotejar el conocimiento actual en la clasificación tsotsil de suelos.

3. Clasificación numérica de suelos para cotejar la clasificación tsotsil de suelos, según la técnica propuesta por Arckley (1976).

4. Precisión del peso específico de cada una de las variables del suelo en el patrón de agrupamiento, reportado por medio de un análisis de diferencias significativas de cada una de las variables entre los grupos de parcelas apareados en cada nivel de distancia del dendrograma, para explicarlo edafológicamente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El campesino tsotsil identifica tres agrupaciones en las formas del paisaje cárstico bajo denominaciones en su lengua materna, que corresponden en el levantamiento

fisiográfico a los sistemas terrestres poljé San Cristóbal, Carst Chamula y una microárea de mesetas escalonadas sobre el carst. Dentro de cada agrupamiento también identifica y denomina, en tsotsil, a los diferentes elementos del paisaje y éstos corresponden a las facetas del levantamiento fisiográfico (Figura 1). Estas tres agrupaciones son:

1. Vits, Tselej y Slomlej (cerros, lomas y dolinas). Es la condición del relieve más frecuente en el paisaje cárstico de la subregión y tiene correspondencia con el sistema terrestre cárst Chamula. En esta agrupación es frecuente encontrar una alternancias de cerros, lomas, dolinas y uvalas típicas del paisaje cárstico y presencia de simas o sumideros que comunican con el drenaje subterráneo.
2. Stenlej y Yalebale (planicies y escalones). Constituido por planicies más o menos

amplias y declives dispuestos a manera de escalones. Esporádicamente se localizan dolinas (slomlej) que contienen sumideros (lomch'en). Los pozos de agua (jo'oc) son frecuentes. Esta agrupación es un lunar de fallas escalonadas formadas sobre el Cárst Chamula en las cercanías del cono cinerítico Huitepec y modificado estructuralmente (el cárst) por fracturas transversales a la falla que corre por el costado norte del Poljé San Cristóbal en dirección ESE-WNW y pasa al norte de Zinacantán.

3. Jobeltic (lugar de paja o zacate). Constituido por laderas (yalebale) y planicies (pachaltic), además de ríos (uc'um) y sumideros (yochob). Corresponde al Sistema Terrestre Poljés San Cristóbal-Teopisca. El Poljé San Cristóbal es conocido en lengua Náhuatl con el nombre Hueyzacatlán (lugar de zacate) con el mismo

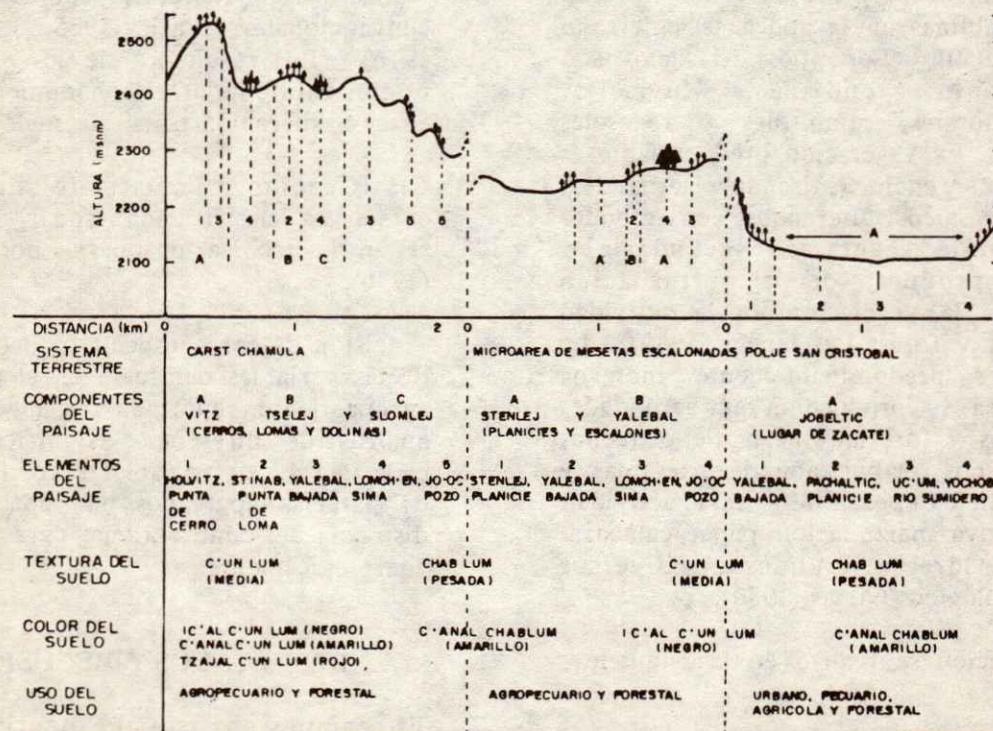


Figura 1. El paisaje cárstico, sus componentes, tipo de suelo y uso actual. Altos de Chiapas, 1989.

significado del término Tsotsil Jobeltic. La ciudad de San Cristóbal de Las Casas, ubicada en los llanos del poljé, es conocida popularmente con el nombre de Jovel (Vos, 1986), derivado del término Tsotsil Jobeltic.

La terminología y descripción general del paisaje cárstico está claramente definida por Derruau (1981). En el paisaje cárstico de la subregión San Cristóbal se observan áreas arboladas en las cumbres de cerros y en derredor de sumideros, simas y pozos. Estas áreas arboladas son sitios sumamente sagrados en la cosmovisión tsotsil, porque ahí está la morada de los dioses ancestrales y del señor de la tierra.

Muchas montañas (witz) y colinas situadas cerca de las poblaciones zinacantecas son moradas de deidades ancestrales (Totil Me'iletic, "padres y madres"). Después de los dioses ancestrales, la deidad más importante es el señor de la tierra (Yahwal Balamil), quien tiene muchas manifestaciones, cada una asociada con un lugar particular (una abertura en la tierra, como una cueva, una cavidad caliza o un pozo de agua (ch'en). El señor de la tierra es propietario de todos los pozos de agua, controla los relámpagos y las nubes (que según se cree, emergen de sus cuevas, se alzan al cielo y producen lluvias para las cosechas) y reclama como suyos todos los productos de la tierra. Los pozos de agua, las montañas y colinas son sitios sumamente sagrados; en ellos se mantienen santuarios de cruz para comunicarse con las deidades ancestrales y con el señor de la tierra (Vogt, 1983), son áreas con vegetación. Estos aspectos de su cultura mágico-religiosa, al tener áreas reservadas con vegetación en donde habitan sus dioses ancestrales y el señor de la tierra, son elementos de una cultura conservacionista que, consideramos, tiene efectos en la dinámica del flujo de agua durante el año en las laderas cársticas. Actualmente se observan algunas cumbres de cerros sin vegetación, lo que puede tener efectos en la dinámica de humedad del suelo y en los procesos productivos.

Los pozos de agua son muy importantes en un paisaje con un sustrato calizo altamente poroso y con baja capacidad de retención de agua. La cantidad de agua disponible en los pozos varía con las estaciones del año. Durante la época veraniega de lluvias, los pozos tienen agua abundante y aún los pequeños pueden alimentar muchos hogares; pero, en la estación seca del invierno muchos de los pozos pequeños se secan completamente, de manera que los grupos domésticos tienen que depender de menos fuentes de agua (Vogt, 1983).

En la clasificación Tsotsil de Suelos, el nombre está compuesto de dos vocablos que se refieren a las características calificativas de textura y color sobre el sustantivo suelo (lum). En calificativo que señala el atributo más importante, es la textura, siguiéndole en importancia el de color (Cuadro 1), coincidiendo en ellos con la clasificación Purhépecha de Suelos (Barrera, 1988). Se reportan tres agrupaciones texturales y cinco tipos de color. El primer vocablo señala el color del suelo, el segundo indica la pertenencia del suelo a una de las agrupaciones texturales y el tercero se refiere al suelo, identificando, el campesino tsotsil, ocho tipos de suelos.

Cuadro 1. Los diferentes tipos de suelos en la clasificación tsotsil. Altos de Chiapas, 1989.

Color	Textura		
	Chablum (pesada)	C'Unlum (media)	Yi'Allum (ligera)
Ic' (negro)	Ic'Alchablum	Ic'Alc'Unlum	-
C'An (amarillo)	C'Analchablum	C'Analc'Unlum	-
Tsajal (rojo)	Tsajalchablum	Tsajalc'Unlum	-
Sacxich (gris)	-	Sacxichlum	-
Sac (blanco)	-	-	Saclum

La relación suelo-topografía parece estar inmersa en varios de los criterios que el

campesino tsotsil utiliza para caracterizar y clasificar los suelos, de tal forma que el binomio textura-relieve sugiere una toposecuencia textural. Los c'unlum (suelos de textura media) ocupan posiciones altitudinales superiores y medias en laderas y puntas de cerros. Los chablum (suelos de textura pesada) se ubican en los sitios topográficos inferiores (depresión de los poljés y fondos de dolinas) (Figura 1).

El color de los suelos, en términos generales, el campesino lo relaciona con el grado de fertilidad que presentan. En esta relación suelo-fertilidad, el orden decreciente de fertilidad es de ic' (negro) a c'an (amarillo) y tsajal (rojo). En c'unlum los vocablos utilizados para designar el color se refieren a la capa negra superficial del suelo y va asociado al nivel de erosión; ésta el campesino la describe así: "El grado en que se va perdiendo la capa negra superficial del suelo por el arrastre de la corriente de la lluvia", la forma de erosión que se percibe en los términos señalados es la erosión laminar hídrica. En este proceso erosivo se puede pasar de un ic'al c'unlum a un c'anal c'unlum o a un tsajal c'unlum por la pérdida del horizonte orgánico superficial. Otra forma de erosión es por medio de cárcavas en los sitios llamados jemeltic (zona de derrumbes).

El jemeltic se forma en lugares donde hay cerros y en laderas, provocado por fracturas en el terreno o por un manejo inadecuado. En algunas áreas se puede encontrar el kex, descrito como: "una especie de piedra que a través del tiempo se ha comido o se ha puesto suave. Es suave con el agua y duro cuando está seco". Los puede haber de diferentes colores: el tsajalkex (de color rojo) es chicloso y suave y hace lodo (com.pers. con Antonio López Meza, 1989). El término kex en Tsotsil puede ser un sinónimo del término Tepetatl en Náhuatl. Existen también otras áreas con afloramientos rocosos denominados tontic (lugar de piedras), que se localizan en diversas formas positivas del relieve cárstico.

Las agrupaciones texturales de suelos tienden a señalar las diferentes condiciones que presentan estos suelos para su manejo, resaltando la relación textura-contenido de humedad que presentan los suelos a través del año y definen la temporada de realización de algunas labores agrícolas (siembra y roturación o quiebra), el grado de dificultad de otras (deshierbes o limpias) y el número de cosechas obtenidas al año (Figura 2).

En la relación textura-manejo, la textura del suelo condiciona las características de los azadones de roturación que se deben usar, porque los azadones para suelos de texturas pesadas son gruesos, pesados y cortos, mientras que los azadones usados en suelos de textura medias son delgados, ligeros y largos.

Existe también una relación relieve-manejo, en donde por un lado, en las laderas medias y fuertes del cárst es necesario elaborar terrazas para evitar la erosión del suelo, además de realizar la roturación y los deshierbes (con el azadón) "jalando" la tierra hacia arriba para tratar de disminuir la pérdida de suelo ocasionada por el arrastre de la escorrentía del agua de las lluvias y por otro lado, en las planicies no inundables del poljé es necesario excavar drenes para evacuar los excesos de humedad de la época lluviosa y evitar que el cultivo se "aguachine" (Cuadro 2).

Las terrazas, como medio para retener suelo a pequeña escala, representan probablemente una técnica muy antigua. En la región Altos de Chiapas se han encontrado terrazas al pie de los cerros del valle de Amatenango y en los cerros del Municipio de Zinacantán (Lobato, 1981). Hay una tradición de años en la construcción de terrazas, las que actualmente se construyen con los materiales disponibles en las parcelas de cultivo y/o en las áreas aledañas. Se pueden hacer con piedras (en terrenos pedregosos), con bloques de pasto yaxaltic y tierra (extraídos de las parcelas empastadas que están siendo usadas para pastoreo de borregos), con rastrejos de cosecha colocados transversalmente a la pendiente, con bordos de setos vivos y otros. Es muy frecuente encontrar terrazas de

Cuadro 2. Condiciones agroambientales de las parcelas en el paisaje cárstico. Altos de Chiapas, 1989.

Parcela	ST	Faceta	Pendiente	Drenaje	Terrazas	Bordos	Descanso	Roturación
E	Carts	Ladera	Fuerte	No	Si	No	Si	Si
K	Carts	Ladera	Media	No	Si	Si	No	No
L	Carts	Ladera	Media	No	Si	Si	No	No
D	Carts	Ladera	Media	No	Si	Si	Si	Si
G	Carts	Ladera	Media	No	Si	No	Si	Si
I	Carts	Ladera	Media	No	Si	No	No	No
C	Carts	Ladera	Media	No	Si	No	Si	No
F	Carts	Ladera	Media	No	No	No	Si	Si
J	Carts	Ladera	Media	No	No	Si	No	No
M	Carts	CC	Suave	No	No	Si	No	Si
N	Carts	CC	Suave	No	No	Si	No	Si
H	Carts	Ladera	Suave	No	No	Si	No	No
A	Carts	Ladera	Suave	No	No	No	Si	No
B	Carts	FD	Suave	No	No	No	Si	No
O	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si
P	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si
Q	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si
R	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si
S	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si
T	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si
U	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si
V	Polje	PNI	Suave	Si	No	No	No	Si

ST = Sistema Terrestre  
PNI = Planicie no inundable

CC = Cumbre de cerro  
FD = Fondo de dolina.

formación sucesiva y, en menor frecuencia, terrazas de bancale. Las terrazas ya son parte de la cultura tsotsil, son conocidas en esa lengua con el término quenbilum (suelo en escalones) (Gómez com. pers., 1989).

En la relación manejo-fertilidad, los niveles de fertilidad del suelo se recuperan con prácticas tales como:

1. Descanso de los terrenos con Yaxaltic (pasto verde pequeño).
2. Adición de abonos orgánicos tales como aserrín, estiércol de caballo, de borrego, gallinaza, y así como también hojas podridas del bosque, preferentemente de encino.

3. Quema parcial de rastrojos y residuos de cosechas, que posteriormente se incorporarán al suelo durante la quiebra o roturación.

4. También se puede originar un tipo de suelo por medio del manejo: El sacxichlum. Este tipo de suelo se forma sobre un c'analc'unlum, al que se le adiciona anualmente parte de la capa negra superficial de un ic'alc'unlum colindante, que al mezclarse por medio de la labranza, adquiere un color gris.

En cada una de las 22 parcelas se realizó un monitoreo de la humedad del suelo a intervalos semanales desde febrero de 1988 hasta marzo de 1989. En la Figura 3 se

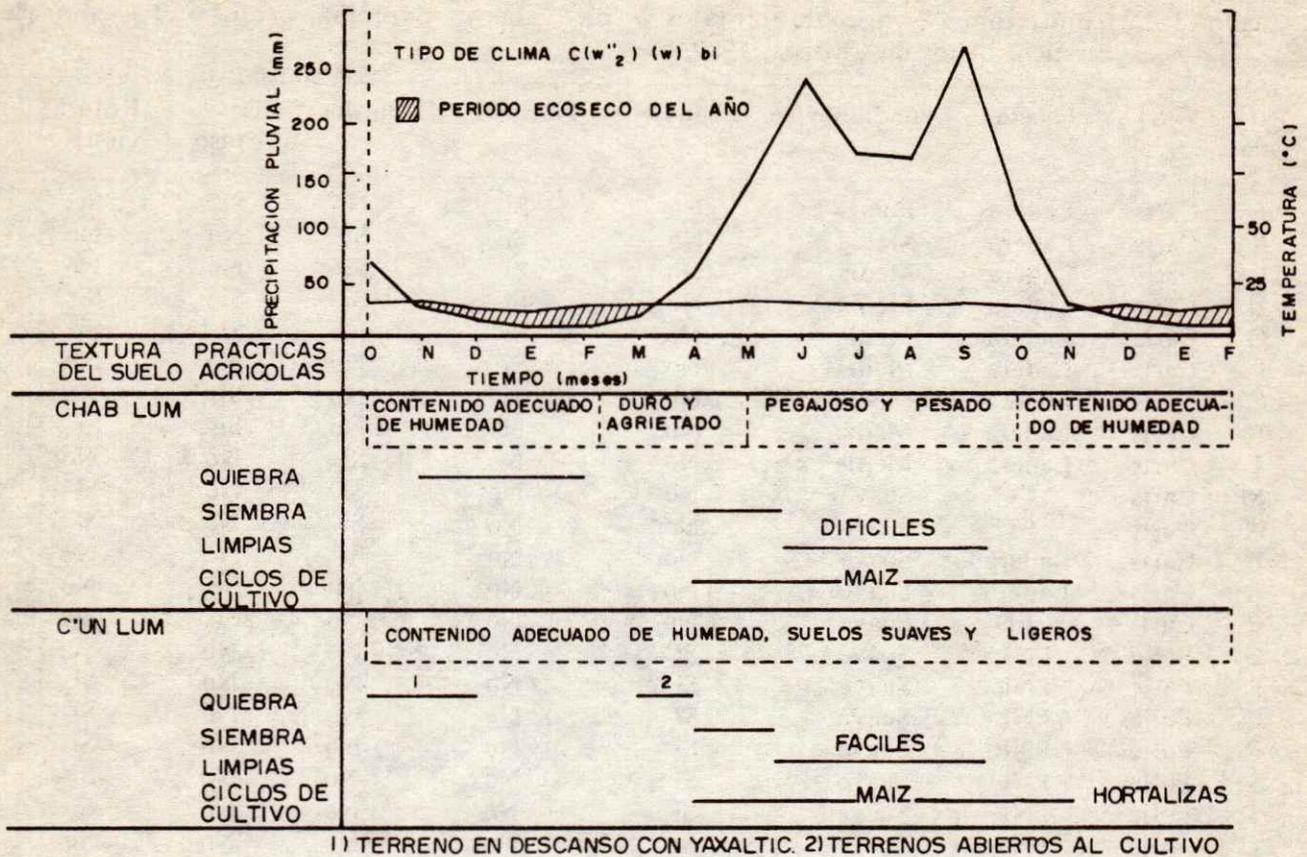


Figura 2. Las prácticas agrícolas en relación con las dinámicas de humedad en los principales tipos de suelos del paisaje cárstico durante el año. Altos de Chiapas, 1989.

presenta la dinámica de la humedad del suelo en una parcela representativa del cárst Chamula y en una parcela representativa del Poljé San Cristóbal; se puede observar que en los suelos de textura franca del carst existe buen nivel de humedad durante el año, con un amplio rango de humedad aprovechable, sin excesos de humedad y con un ligero déficit de humedad al final del período ecoseco, condición que permite tener suelos fácilmente laborables durante todo el año y humedad aprovechable para realizar cultivos de invierno, además de las cosechas de primavera-verano. En el suelo del Poljé se observa un menor rango de humedad aprovechable y un gran contraste en la dinámica de la humedad del suelo durante el año, con efectos importantes para las condiciones de manejo del suelo, porque durante el periodo ecoseco la humedad

está por debajo del punto de marchitamiento permanente (PMP) y se tiene un suelo duro y agrietado, mientras que en el período lluvioso la humedad se encuentra por encima de la capacidad de campo (CC) con un suelo sobresaturado, pegajoso y pesado que si nó se le excava una adecuada red de drenaje, no permite el desarrollo de cultivos. En el suelo del poljé tanto por déficit como por exceso de humedad se dificultan las labores agrícolas, y los cultivos de invierno sólo son posibles con riego artificial. Esta información concuerda con las opiniones vertidas por el campesino Tsotsil (Figura 2).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos de las 22 muestras de suelo que se usaron para la

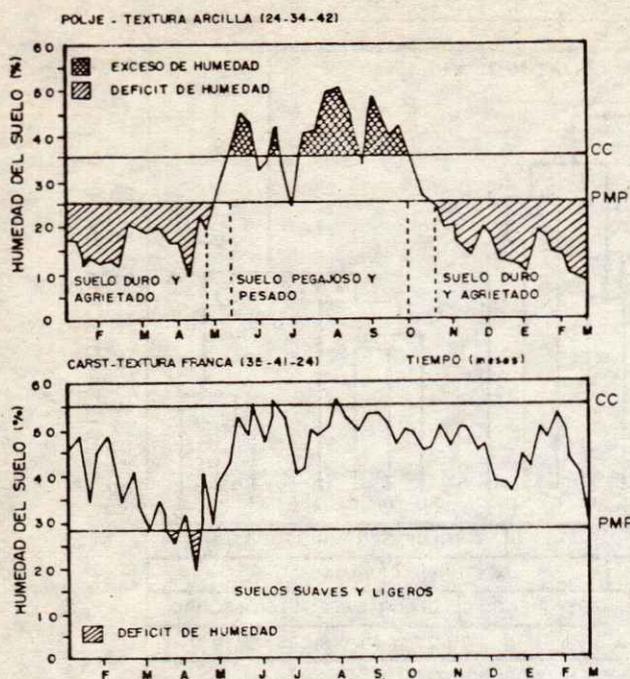


Figura 3. La dinámica de la humedad de los suelos en el polje San Cristobal y en el Carst Chamula. Altos de Chiapas, 1989.

clasificación numérica de suelos. De estas 14 variables del suelo se eliminaron aquellas con más alto coeficiente de correlación (limo, CC, PMP y HA) y con las 10 restantes se procedió a la construcción del dendrograma que se presenta en la Figura 4. En base al dendrograma ya formado, tomando a cada parcela como tratamiento, se procedió a determinar el peso específico de cada una de las 10 variables que están separando a cada uno de los grupos que se formaron al aplicar el método de agrupamiento. Las variables continuas (7) se analizaron con la prueba T de "student" y las variables discretas del color (Hue, Value y Chroma) por medio de la prueba no paramétrica de Wilcoxon (Steel y Torrie, 1985).

Las variables del suelo que reportan diferencias significativas en cada uno de los niveles de agrupamiento del dendrograma fueron: textura, color, MO, pH, CIC,  $P_2O_5$  y  $N_t$ , según se observa en la Figura 4. En este patrón de agrupamiento se coincide con la clasificación Tsotsil de suelos en las variables de textura y color; pero, se registran también otras variables del suelo

Cuadro 3. Resultados de los análisis físicos y químicos de los suelos de las parcelas en el paisaje cárstico. Altos de Chiapas, 1989.

Clave	pH	M.O.	$P_2O_5$	$N_t$	CIC	ARC	LIM	ARE	HUE	VAL	CHR	CC	PMP	HA	
LP-1056	A	5.1	11.7	1.1	0.24	28	30	49	21	5.0	2.5	2	67	29	38
LP-1057	B	4.7	8.7	3.8	0.28	19	21	47	32	7.5	3.0	2	56	29	27
LP-1058	C	5.2	11.7	1.1	0.29	22	18	53	29	7.5	2.5	2	62	31	31
LP-1059	D	4.7	17.7	1.1	0.29	30	16	49	35	5.0	2.5	1	71	38	33
LP-1060	E	5.4	7.3	0.1	0.30	16	24	43	33	7.5	3.0	4	53	31	22
LP-1061	F	4.9	9.7	0.1	0.15	21	44	41	15	5.0	3.0	2	54	31	23
LP-1062	G	5.0	6.7	1.1	0.15	18	30	39	31	7.5	3.0	4	52	29	23
LP-1054	H	5.5	8.0	0.1	0.18	19	18	41	41	7.5	3.0	2	55	28	27
LP-1055	I	4.8	7.5	2.7	0.26	24	44	39	17	7.5	3.0	4	50	29	21
LP-1064	J	5.4	7.3	4.3	0.24	18	32	41	27	5.0	3.0	4	56	30	26
LP-1065	K	5.4	10.7	9.0	0.28	23	28	43	29	5.0	2.5	2	60	31	29
LP-1066	L	5.4	10.7	10.1	0.22	25	40	41	19	5.0	3.0	2	58	32	26
LP-1067	M	5.0	6.4	7.8	0.21	23	46	37	17	7.5	3.0	2	50	27	23
LP-1063	N	5.0	13.4	2.1	0.17	26	28	43	29	5.0	2.5	2	61	33	28
LP-1080	O	5.8	5.5	3.1	0.33	27	47	35	18	10.0	2.0	2	39	29	10
LP-1081	P	5.9	5.0	0.9	0.24	25	43	34	23	10.0	2.0	2	35	25	10
LP-1082	Q	6.5	4.9	3.2	0.28	24	34	37	20	10.0	2.0	2	31	22	09
LP-1079	R	5.8	5.6	5.0	0.25	29	43	36	21	10.0	2.0	2	36	24	12
LP-1083	S	5.5	4.5	7.6	0.24	25	36	35	29	10.0	2.0	2	34	24	10
LP-1084	T	5.6	4.8	7.5	0.20	23	39	32	29	10.0	2.0	2	32	24	08
LP-1085	U	5.7	4.6	8.7	0.21	22	44	30	26	10.0	2.0	2	33	24	09
LP-1086	V	5.8	4.9	0.6	0.19	30	49	25	26	7.5	2.0	4	41	28	13

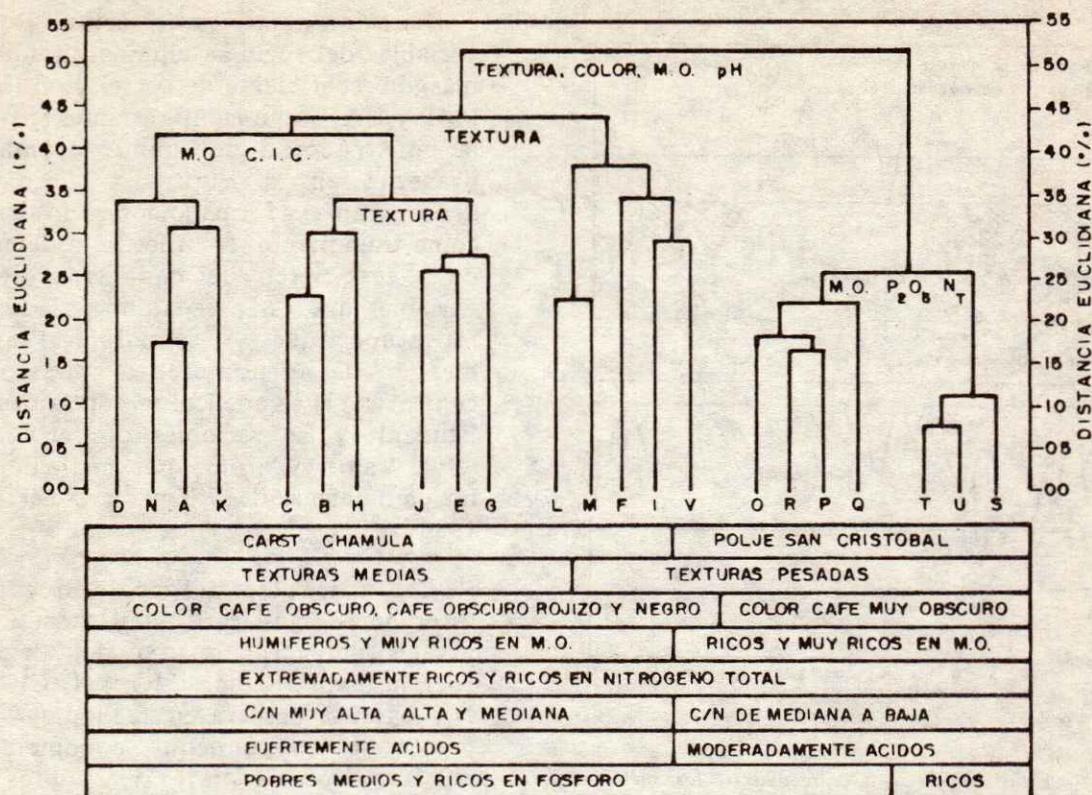


Figura 4. Dendrograma de agrupamiento de los suelos del paisaje cárstico. Altos de Chiapas, 1989.

(MO, pH, CIC,  $P_2O_5$  y  $N_t$ ) que juegan un importante papel en los grupos formados.

La clasificación numérica de suelos debe desarrollarse sobre variables continuas. Al determinarse el color sobre tres variables discretas (Hue, Value y Chroma) con relativa independencia entre si y siendo el color del suelo una variable muy importante en las clasificaciones indígenas de estos, las tres variables del color deben integrarse en una sola, para darle continuidad al atributo del color y pueda éste participar con toda su magnitud en la clasificación numérica de suelos.

En los resultados de los análisis de suelos se reportan suelos ricos y muy ricos en nitrógeno total (Nt), pero en algunos casos extremadamente ricos en materia orgánica (MO), conduciendo a una relación carbono/nitrógeno (C/N) de alta a mediana, lo que sugiere un

balance negativo en el contenido de nitrógeno del suelo. Los suelos son de moderadamente a fuertemente ácidos y esta condición puede estar asociada con problemas de fijación de fósforo en los suelos del paisaje cárstico.

En la relación suelo-relieve no se pudo precisar a detalle la toposecuencia textural; pero se pudieron contrastar las texturas predominantes en el polje y en el cárst, encontrándose texturas pesadas en el polje y medias en el cárst, (Figuras 1 y 4) confirmando con ello, la opinión del campesino tsotsil.

El conocimiento detallado de la toposecuencia textural en el paisaje cárstico está interferido por:

1. Fallas geológicas que lo disectan;

2. Prácticas de manejo (roturación y terraceado) que modifican la capa superficial del suelo;
3. Erosión diferencial en los diferentes elementos del paisaje;
4. Un sistema de microcuencas que complican su análisis; y
5. Depósitos de cenizas volcánicas en un pasado reciente.

### CONCLUSIONES

Las coincidencias entre las clasificaciones tsotsil y numérica de suelos en función de las variables textura y color, permiten el cotejo estadístico de la clasificación tsotsil de suelos.

En el patrón de agrupamiento reportado con la clasificación numérica, participan también otras variables del suelo, a saber: contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico, fósforo aprovechable y nitrógeno total.

En la relación suelo-paisaje-manejo, por un lado, la topografía ejerce una fuerte influencia en la dinámica de los suelos y condiciona prácticas de uso y manejo, y por otro, el régimen de humedad del suelo durante el año es más favorable para los cultivos en los suelos de textura media de las laderas del Cárst Chamula, que en los suelos de textura pesada de las planicies no inundables del Polje San Cristóbal.

En la relación manejo-fertilidad, el campesino tsotsil realiza rotaciones en el uso de la tierra y diferentes prácticas de reciclamiento de residuos orgánicos para recuperar los niveles de fertilidad del suelo, evidenciando un aprovechamiento integral de los escasos recursos con que cuenta.

En la descripción de los suelos y de los procesos de sus dinámicas erosivas, el campesino tsotsil manifiesta conciencia del fenómeno erosivo y en consecuencia, la

necesidad de prácticas de conservación y de recuperación de suelos, las que realiza con diferentes técnicas de manejo.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a los campesinos tsotsiles cooperantes de los parajes Tseteltón, Bautista Chico y Arvenza en el municipio de Chamula y de los campesinos que habitan en la periferia de la ciudad de San Cristóbal de las Casas. A los técnicos Mateo Sántiz Guzmán, Juan Franco Pérez y Angel Martínez Vásquez por sus valiosos apoyos en las entrevistas en tsotsil, muestreos de suelos en campo y procesamiento de datos estadísticos, respectivamente. A la señora Cenovia Gutiérrez Robles por su excelente trabajo mecanográfico.

### LITERATURA CITADA

- AGUILERA H.N. 1959. Suelos. *In:* Beltrán E. (ed). Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. 2(5): 172-212. IMRNR. México.
- ALEMAN S., T. 1989. Los sistemas de producción forestal y agrícola de roza. *In:* Parra V.M. (Coord.). El subdesarrollo agrícola en Los Altos de Chiapas. Col. Cuadernos Univ., Serie Agronomía No. 18: 83-151. UACH-CIES. México.
- ALEMAN S., T. y M. DE LA L. LOPEZ M. 1989. Los sistemas de producción agrícola. *In:* Parra V.M. (Coord.). El subdesarrollo agrícola en Los Altos de Chiapas. Col. Cuadernos Univ., Serie Agronomía No. 18: 153-237. UACH-CIES. México.
- ARCKLEY R., J. 1976. Statistical methods in soil classification research. *Ad. in Agronomy* 28: 37-70.
- ARGUETA V., A. 1988. Etnobiología y civilización mesoamericana. *América Indígena* 24: 17-23. INI, México.

- ARIAS R., L.M.** 1980. Relación entre agrohábitats y variantes del complejo *Phaseolus coccineus* L. en la Mesa Central de Chiapas, México. Tesis de licenciatura, Esc. de Biología, Univ. Autónoma del Estado de Morelos. México. 99 pp.
- BARRERA B., N.** 1988. Etnoedafología purhépecha. México Indígena 24: 47-52. INI, México.
- BLACK C., A.** (ed). 1965. Methods of soil analysis. Part 1. Amer. Soc. of Agronomy Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA. 770 pp.
- CARTER W., E.** 1969. New lands and old traditions. Kekchi cultivators in the Guatemalan low lands. University of Florida Press. Gainesville, USA. 153 p.
- CERVANTES T., E.** 1988. Introducción a la clasificación campesina de suelos en el paisaje cárstico de la subregión San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Tesis de licenciatura, Depto. de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 61 pp.
- CERVERA Y M., J.T.** 1863. Tratado sobre los terrenos de Yucatán. In: El Repertorio Pintoresco. Mérida, Yucatán, México.
- CUANALO DE LA C., H.E.** 1963. Suelos del campo experimental forestal "El tormento", Campeche. Tesis de licenciatura, Depto. de Suelos, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 45 pp.
- DERRUAU MAX.** 1981. Geomorfología. 2a. edición. Ariel, Barcelona, España. pp. 305-318.
- GARCIA E.** 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 pp.
- HELBIG K.M.** 1976. Chiapas, geografía de un estado. Tomo I. Publ. del Gobierno del Estado de Chiapas, México. 365 pp.
- HERNANDEZ X., E.** 1959. La agricultura. In: Beltrán E. (ed). Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. Tomo 3(1): 3-57. IMRMR. México.
- JACKSON M.L.** 1976. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona, España. 662 pp.
- JIMENEZ S.O.** 1984. Bosquejo geológico del área de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. INAH. México. 53 pp.
- LOBATOG., R.** 1981. Terrazas prehispánicas en la selva lacandona y su importancia en sistemas de producción agrícola. In: alternativas para el uso del suelo en áreas forestales del trópico húmedo. Publicación especial No. 28(3): 9-34. SARH-INIF. México.
- MERA O., L.M.** 1989. Condiciones naturales para la producción. In: Parra V.M. (coord.). El subdesarrollo agrícola en los Altos de Chiapas. Col. Cuadernos Univ., serie agronomía No. 18: 21-82. UACH-CIES. México.
- MIRANDA F.** 1950. Characteristics of the vegetation in certain temperate regions of Eastern México. Ecology 31(3).
- MIRANDA F. y HERNANDEZ X.** 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Sobretiro del Boletín de la Soc. Botánica de México No. 28. CP-SARH. México. 178 pp.
- PARRA V.M. y L.M. MERA O.** 1989. La organización social para la producción. In: Parra V.M. (coord.) El subdesarrollo agrícola en los Altos de Chiapas. Col. Cuadernos Univ., Serie Agronomía No. 18: 315-405. UACH-CIES. México.
- PAZOS R.A.** 1965. Efecto de la topografía en la formación de los suelos de Chac, Yucatán. Segundo Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo. Tomo I: 519-531. SMCS. México.
- PEREZ P, J.M.** 1984. Caracterización y utilización de la clasificación maya de los suelos en el municipio de Oxkutzcab, Yucatán. Tesis de licenciatura, Depto. de Suelos, Univ. Aut. Chapingo. Chapingo, México. 158 pp.

**PETERSEN R.G. y L.D. CALVIN.** 1965. Sampling. *In:* Black C.A..(ed). Methods of soil analysis. Part I: 54-72. Amer. Soc. of Agron., Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.

**SAHAGUN FRAY BERNARDINO DE.** 1938. Historia General de las Casas de Nueva España. Ed. Pedro Robredo. México.

**SANABRIA DIAGO O.L.** 1986. El uso y manejo forestal en la comunidad de Xul, en el sur de Yucatán. Fascículo 2 de Etnoflora Yucatanense. INIREB, México. 191 pp.

**SPP.** 1981. Carta edafológica. Villahermosa. Esc. 1: 1,000,000. México.

**STEEL R.G.D. y J.H. TORRIE.** 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. Mc Graw Hill. pp. 520-540.

**VOGTEVON Z.** 1983. Ofrendas para los dioses. Análisis simbólico de rituales zinacantecos. Fondo de Cultura Económica. México. 328 pp.

**VOS JAN DE.** 1989. San Cristóbal, ciudad colonial. Ed. Fray Bartolomé de Las Casas. México. 92 pp.

**WILLIAMS B., J.** 1975. Aztec soil science. Boletín Instituto de Geografía Vol. 7: 115-120. UNAM. México.

**WILLIAMS B., J. and C.A. ORTIZ-SOLORIO.** 1981. Middle american folk soil taxonomy. *In:* Annal of the Association of American Geographers 71(3): 335-358.

**ZIZUMBO V.D. y P. COLUNGA.** 1985. Los huaves, la apropiación de los recursos naturales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 283 pp.

## ESTUDIO EDAFOLOGICO DEL EJIDO DE XOCHIMILCO (CIENEGA GRANDE)

Edaphologic Study of the Ejido of Xochimilco (Ciénega Grande)

Gloria Alfaro S. y Francisco Orozco Ch.

Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria,  
04510 México, D.F.

Dirección General de Geografía, INEGI, Héroe de Nacozari Sur  
2301, Col. Industrial, 20290 Aguascalientes, Ags.

*Palabras clave:* **Fotointerpretación, Edafología, Unidades taxonómicas, Fases físicas y químicas, Morfología, Cartografía, Uso y manejo del suelo.**

*Index words:* **Edaphologic photointerpretation, Taxonomic units, Chemical and physical phases, Morphology, Cartography and Soil use and management.**

### RESUMEN

Los suelos del ejido Xochimilco (Ciénega Grande), hasta hace tres décadas se caracterizaban por su alto potencial agrícola. En la actualidad éste se encuentra severamente disminuido por la alteración ecológica ambiental provocada, primordialmente, por el crecimiento incontrolado de la ciudad de México. El objetivo del presente trabajo fue identificar y cartografiar los suelos del ejido a fin de obtener un mejor conocimiento edafológico que pueda contribuir al uso y manejo más adecuado de ellos. Para dicho estudio se utilizó la metodología tradicional de fotointerpretación edafológica y el Sistema de Clasificación de Suelos de la FAO/UNESCO, 1970, modificado por la Dirección General de Geografía del INEGI (DETENAL, 1975).

Recibido 3-87.

Los procedimientos utilizados permitieron identificar y cartografiar tres unidades taxonómicas que son, en orden de predominancia, los siguientes: Histosol éutrico (Oe), Solonchak mólico (Zm) y Andosol mólico (Tm), todas con sus respectivas fases físicas o químicas, o ambas. Los resultados de este estudio muestran que los suelos son potencialmente fértiles, principalmente por su alto contenido de materia orgánica y nutrientes, morfología bien desarrollada y alta capacidad de retención de humedad; sin embargo, la fertilidad está afectada por la salinidad, sodicidad, inundación y contaminación (Alfaro y Orozco, 1980).

### SUMMARY

Until three decades ago the soils of the ejido of Xochimilco were characterized by a high potential for agricultural production. At present this potential has diminished due to the alteration of the ecological environment caused by the uncontrolled growth of Mexico City.

The objective of this study was to identify and map the soils of the ejido in order to provide more adequate information for their optimal use and management.

The traditional methodology for soil photointerpretation and the FAO/UNESCO Soil Classification System, 1970, modified by the General Direction of Geography of the INEGI (DETENAL, 1975) were used.

The following three taxonomic units, in order of importance, were identified: Eutric Histosol (Oe), Mollic Solonchak (Zm) and Mollic Andosol (Tm), along with their physical and chemical phases.

The results showed that these soils are potentially fertile, mainly because of their high content of organic matter and nutrients, well developed morphology and high capacity for the retention of moisture; nevertheless, the fertility is negatively affected by high salinity, flooding and chemical pollution.

## INTRODUCCION

En la actualidad, la baja productividad de varios ejidos es uno de los principales problemas de carácter nacional. La deficiencia de producción se debe, en parte, a la degradación del recurso suelo, provocada por diferentes razones tales como: impacto ambiental, fertilización intensiva, uso y manejo irracional, entre otros. El incontrolado crecimiento demográfico del país ha provocado la degradación de los recursos naturales haciendo cada día más insuficiente la producción de alimentos destinados a satisfacer las necesidades de los grandes conglomerados de población (Alfaro y Orozco, 1980).

Respecto al ejido de Xochimilco, motivo de nuestro estudio, el deterioro de los suelos se debe a su ensalitramiento, contaminación e inundación, problemas originados primordialmente por el acelerado crecimiento demográfico de la ciudad de México que, para satisfacer sus necesidades, entubó el agua de los manantiales que retroalimentaban a los

canales de Xochimilco y que circundan al ejido. Esto, consecuentemente provoca el estancamiento de las aguas y, por si fuera poco, permitió la desembocadura de aguas negras, tanto urbanas como industriales, hacia los mismos canales; sólo en algunos casos a dichas aguas se les da un tratamiento previo.

La problemática planteada originó el deterioro actual de los suelos, ya que a partir de 1956 la productividad del ejido Xochimilco ha venido descendiendo, en tal grado, que en noviembre de 1988 la producción promedio de maíz fue de sólo  $1.5 \text{ ton ha}^{-1}$ , cuando en condiciones óptimas, sin la aplicación de tecnología avanzada, ésta llegó a ser de 6 a  $7 \text{ ton ha}^{-1}$ .

Lo dicho anteriormente permite observar la importancia del estudio del suelo, uno de los recursos irremplazables para la subsistencia del hombre, por lo que los objetivos del presente trabajo fueron: clasificar y cartografiar los suelos del ejido de Xochimilco y definir su capacidad de uso.

Se espera que este trabajo sirva como inicio de otros que puedan coadyuvar a la formulación de programas de desarrollo que beneficien a los habitantes de la región. Xochimilco fue proveedor importante de verduras y legumbres para la ciudad de México, papel que hoy no desempeña, pero que con asesoría adecuada puede aún llegar a cumplir, abasteciendo a una parte de la población del Distrito Federal o, por lo menos, produciendo suficientes productos para su población que en la actualidad es muy numerosa.

## MATERIALES Y METODOS

El ejido de Xochimilco se ubica en la delegación del mismo nombre, entre los  $19^{\circ}18'$  y  $19^{\circ}19'$  del latitud norte y  $99^{\circ}05'$  y  $99^{\circ}06'$  de longitud oeste, sobre una topografía plana. Los suelos son de origen lacustre, palustre y aluvial; cubren una superficie promedio de 633 hectáreas de las cuales la mayoría está destinada a la agricultura de temporal permanente anual, una parte sostiene

vegetación halófila y un área muy pequeña vegetación acuática.

El subtipo climático es C(wo), el más seco de los templados húmedos, en el que la temperatura media anual es de 15°C y la precipitación pluvial de 600 a 800 mm por año. Por las características mencionadas, la escala seleccionada para la representación cartográfica de este estudio fue 1:10,000.

La metodología utilizada comprende los puntos siguientes: fotointerpretación edafológica, actividad en la que se elaboró un mapa de suelos, con carácter de hipótesis, sobre las fotografías aéreas blanco/negro a escala 1:10,000, en función de las reglas tradicionales (Dirección General de Geografía, 1975) de fotointerpretación y de los factores formadores del suelo.

En el campo se abrieron 14 pozos a cielo abierto y describieron morfológicamente y se muestrearon los perfiles (Cuanalo, 1970; Dirección General de Geografía, 1975), así como se practicaron las barrenaciones que fueron necesarias para afinar los linderos de las unidades edáficas delimitadas en las fotografías aéreas. En el laboratorio se hizo el análisis de rutina para la clasificación de los suelos, de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Suelos FAO/UNESCO (1970), modificado por la Dirección General de Geografía del INEGI (DETENAL, 1975). Los análisis practicados fueron: color en seco y húmedo (Munsell, 1973); densidad aparente y real (Black, 1965); textura (Blanck y Korosec, 1979); pH, medido potenciométricamente en una relación 1:5 en agua (Black, 1965); capacidad de intercambio catiónico, determinada en acetato de sodio 1N pH 8.2 (Chapman, 1976); materia orgánica (Walkley y Black, 1947); cationes intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio (Chapman, 1976); conductividad eléctrica y pH en pasta de saturación (Richards, 1977).

En el gabinete se hizo la reinterpretación, es decir se analizó e interpretó la información recopilada en el campo y en el laboratorio, con el fin de clasificar a los

suelos de acuerdo con el Sistema FAO/UNESCO (1970); posteriormente, se procedió a definir las unidades cartográficas sobre las fotografías aéreas para la elaboración del mapa definitivo de suelos (ver mapa correspondiente en la sección de resultados). Por último se determinó la capacidad agrológica de cada unidad cartográfica de acuerdo al Sistema de Clasificación de Tierras (DETENAL, 1975), así como su cuantificación en hectáreas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Clasificación de Suelos.

Las unidades de suelo establecidas fueron Histosol éutrico (Oe), Solonchak mólico (Zm) y Andosol mólico (Tm). A continuación se hace la descripción de los tres perfiles prototipo de suelo de cada una de las unidades mencionadas, mostrando las principales características y propiedades así de campo como de laboratorio utilizadas en su clasificación.

En el Cuadro 1 se presentan las características de Histosol éutrico.

Suelo moderadamente profundo (68 cm), negro, con turba impura formada en condiciones paleo lacustres del holoceno, contenido de materia orgánica mayor de 20%, densidad aparente baja (menor de 0.65 g cm<sup>-3</sup>), capacidad de campo alta y elevado contenido de nutrientes.

Presenta un horizonte intermedio de color blanco, característica que no corresponde al histosol, ya que se comprobó, por análisis mineralógico, que se trata de material amorfo de origen volcánico, por tanto se trata de una discontinuidad litológica.

La clase textural reportada es subjetiva debido a que el suelo tiene altos contenidos de materia orgánica, sales y sodio.

El pH y la conductividad eléctrica reportados no son características típicas de

Cuadro 1. Perfil característico de Histosol éútrico (Oe).

P E R F I L 6

HORIZONTE	PROFUNDIDAD EN CM	COLOR HUMEDO	COLOR SECO	ESTRUCTURA	CLASE TEXTURAL	DA g/cm <sup>3</sup>	PH	H O I : S	% MO	C I C T meq / 100g	NUTRIENTES ASIMILABLES meq / 100g			% SATURACION BASES	EXTRACTO PASTA SATURACION		Ne meq / 100g	% SATURACION Ne
											K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CE mmhos	PH		
b02sa	0-30	10YR3/1 gris muy osc café	10YR4/1 gris oscuro	Esponjoso	C (24-38-38)	0.57	8.2	22	55.2	0.5	2.6	8.6	100	13	8.0	5.3	9.6	
02sa	30-50	7.5YR7/0 gris muy osc	7.5YR5/0 gris	Esponjoso	C (26-36-38)	0.45	8.2	34	87.0	0.3	9.4	8.6	100	11	8.0	5.0	5.7	
IICsa	50-53	10YR5/2 café grisaceo	7.5YR8/0 blanco	Laminar	Mt (10-66-24)	0.80	8.2	6	32.4	0.3	1.8	2.8	100	14	8.0	1.6	4.9	
b02sa	53-68	10YR3/2 café grisaceo	7.5YR6/0 gris	Esponjoso	Mt (29-33-38)	0.40	8.2	38	69.2	0.2	7.0	11.0	100	14	8.0	5.6	8.0	

Manto freático

Clasificación: Histosol éútrico (Oe); con fase moderadamente salina + (ms: CE= 8 a 16 mmho) y clase textural media (2)<sup>o</sup>

\* % arcilla - % limo - % arena

+ Fase, en el sistema FAO/UNESCO, son las limitantes al uso y manejo del suelo.

<sup>o</sup> (2); Textura en los 30 cm superficiales

Gruesa - 1 mayor de 65% de arena

Media - 2 menor de 65% de arena y menor de 35% de arcilla

Fina - 3 mayor de 35% de arcilla

Simbología Oe-ms

2

este suelo, debido a que el ejido se encuentra en una zona lacustre, con altas concentraciones de sales, sin embargo, estas características actúan como limitantes severas para el uso y manejo del suelo.

En el Cuadro 2 se presentan las características del Solonchak mólico.

Suelo profundo (mayor de 100 cm), color gris oscuro, densidad aparente baja, capacidad de intercambio catiónico alto, contenido de materia orgánica moderada y rico en bases.

Este suelo se encontró en un área muy restringida, por tanto se consideró como una

inclusión y no se representó cartográficamente. Por otro lado, este Andosol se encuentra sepultando a un Histosol éútrico (Cuadro 3).

Las principales características de diagnóstico utilizadas en la clasificación de los suelos son: materia orgánica mayor de 20% para los Histosoles, conductividad eléctrica mayor de 16 mmho cm<sup>-1</sup> para los Solonchaks y densidad aparente menor de 0.85 g cm<sup>-3</sup> de material de origen volcánico para el Andosol, que resultó ser una inclusión. Sin embargo, estas tres características siempre están presentes en todos los suelos del ejido, aunque predomina alguna de ellas que fue

Cuadro 2. Perfil característico de Solonchak mólico (Zm).

## P E R F I L 12

HORIZONTE	PROFUNDIDAD En cm	COLOR HUMEDO	COLOR SECO	ESTRUCTURA	CLASE TEXTURAL	DA g/cm <sup>3</sup>	pH	H <sub>2</sub> O i.b	% M.D	C I C Y mg / 100g	NUTRIENTES ASIMILABLES mg / 100 g			% SATURACION BASES	EXTRACTO PASTA SATURACION		Na mg / 100g	% SATURACION Na
											K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CE mmhos	pH		
A11sa	0-24	7.5YR3/0 gris muy oscuro	10YR5/1 gris	suban- gulares	Mr (30-38-32)	0.61	9.0	11		49.2	2.1	5.2	6.6	100	24	8.5	15.6	32
A12sa	24-40	10YR3/1 gris muy oscuro	10YR6/1 gris	subangu- lares	Mr (32-42-26)	0.56	9.1	10		59.0	1.3	3.2	8.0	100	83	8.8	15.6	27
B2sa	40-70	10YR3/2 gris oscuro	2.5YR6/0 gris	angu- lares	R (40-38-22)	0.54	9.1	9		55.6	1.3	3.6	2.6	100	15	8.8	10.6	19
11c1sa	70-86	10YR5/1 gris	10YR8/1 blanco	laminar	R (40-38-22)	0.70	9.3	6		46.8	1.9	3.4	3.0	100	11	8.8	8.8	19
bA11sa	86- 116	10YR4/1 gris oscuro	10YR5/1 gris	subangu- lares	C (14-42-44)	0.91	8.7	11		41.8	1.6	6.0	6.0	100	14	8.2	9.4	22
bA12sa	116- 150	10YR3/0 café grisá- ceo	10YR5/2 café grisá- ceo	subangu- lares	C (14-36-50)	0.91	8.7	10		41.0	1.4	7.4	4.8	100	14	8.2	9.4	23

Clasificación: Solonchak mólico (Zm), con fase sódica + (n: sat. Na = 15%) y clase textural media (2)°

\* % arcilla - % limo - % arena

+ Fase, en el sistema FAO/UNESCO, son las limitantes al uso y manejo del suelo.

° (2); Textura en los 30 cm superficiales

Gruesa - 1 mayor de 65% de arena

Media - 2 menor de 65% de arena y menor de 35% de arcilla

Fina - 3 mayor de 35% de arcilla

Simbología Zm-n  
2

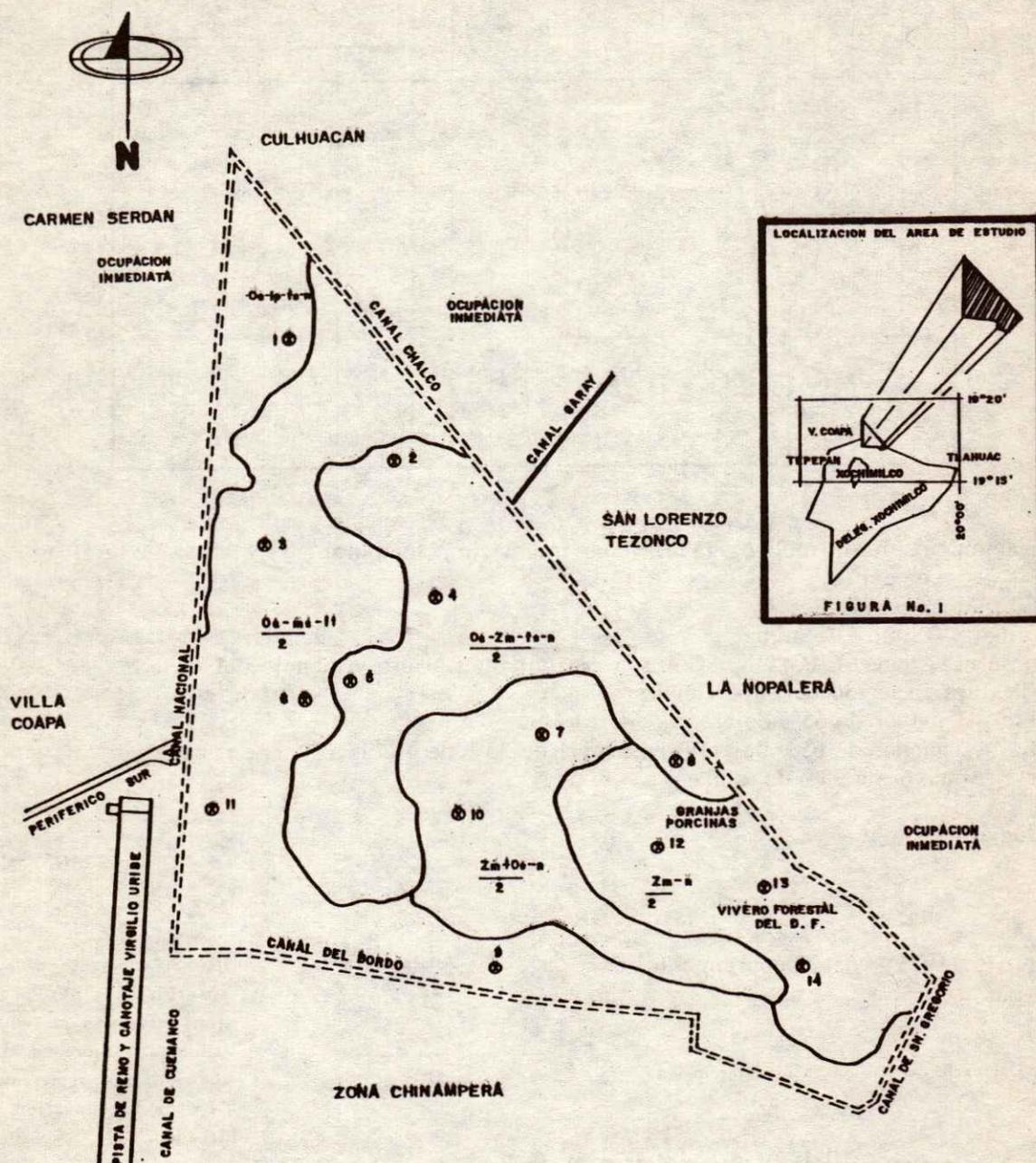
determinante en la clasificación. Por lo dicho anteriormente y con base en los resultados obtenidos de los perfiles, se realizaron asociaciones de suelo en la parte central del ejido (Mapa 1).

Las limitantes más severas para el uso y manejo del suelo, halladas en el ejido, son: salinidad; moderadamente salina (ms: 8 a 16 mmho cm<sup>-1</sup>) y fuertemente salina (fs: mayor de 16 mmho cm<sup>-1</sup>); sodicidad (n: tanto por ciento de saturación de sodio mayor del 15%) y nivel freático: inundación permanente (ip) e

inundación temporal (it). Todas ellas determinantes en la capacidad agrológica de las unidades cartográficas, y también están representadas en el mapa.

#### Unidades Cartográficas de Suelo y Capacidad Agrológica.

Las unidades están definidas en función de los perfiles prototipo, perfiles de apoyo y barrenaciones, y la capacidad con base en el Sistema de Clasificación de Tierras de la



Mapa de suelos del ejido de Xochimilco (cienega grande).

Cuadro 3. Perfil característico de Andosol mólico (Tm).

P E R F I L 11

HORIZONTE	PROFUNDIDAD EN CM	COLOR HUMEDO	COLOR SECO	ESTRUCTURA	CLASE TEXTURAL	DA g/cm <sup>3</sup>	pH H <sub>2</sub> O 1:5	% MO	C I C T meq / 100g	NUTRIENTES ASIMILABLES meq / 100g			% SATURACION BASES	EXTRACTO PASTA SATURACION		Ns meq / 100g	% SATURACION
										K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CE mmhos	pH		
Ap	0-30	10YR4/1 gris oscuro	10YR5/2 café grisáceo	Granular	M1 (28-48-24)	0.66	8.4	11	72.8	0.8	2.8	7.8	100	2.17	8.2	3.6	4.94
A11	30-56	7.5YR3/0 gris oscuro	10YR6/1 gris	Subangular	C (26-36-38)	0.54	8.1	10	56.8	0.3	5.4	5.4	100	3.06	7.7	2.6	4.57
A12	56-78	7.5YR2/0 negro	7.5YR3/0 gris	Subangular	Mr (10-40-30)	0.43	7.8	15	74.0	0.4	3.2	6.6	100	2.00	8.1	2.5	3.37
O2	78-111	10YR3/1 gris muy oscuro	10YR4/2 café grisáceo	Esfonjosa	C (20-40-40)	0.40	8.5	23	104.2	0.8	2.0	1.3	100	2.71	7.7	2.2	2.11
B1C1	111-115	10YR5/2 café grisáceo	10YR8/1 blanco	Laminar	M1 (10-62-28)	0.80	7.6	3	29.0	0.4	1.6	1.8	100	1.69	8.2	1.0	3.44
B02	115-140	10YR3/1 gris muy oscuro	7.5YR3/0 gris oscuro	Esfonjosa	C (18-34-48)	0.57	7.6	25	73.0	1.3	6.2	11.2	100	2.71	7.5	2.3	3.15

Clasificación: Andosol mólico (Tm), con inundación temporal (it) y clase textural media (2)<sup>o</sup>.

\* % arcilla - % limo - % arena

+ Fase, en el sistema FAO/UNESCO, son las limitantes al uso y manejo del suelo.

° (2); Textura en los 30 cm superficiales

Gruesa - 1 mayor de 65% de arena

Media - 2 menor de 65% de arena y menor de 35% de arcilla

Fina - 3 mayor de 35% de arcilla

Simbología Tm-it  
2

DETENAL (1975), del Departamento de Agrología.

Oe-Zm-fs-n  
2

III-NS, semejante a la clase anterior, pero sus limitantes son sodicidad y salinidad. Cubre un área de 153 ha, que representan el 24% de la superficie total del ejido.

Unidades Cartográficas (ver mapa)

Capacidad agrológica (ver mapa)

Oe-ms-it  
2

III-IS, esta clase no permite realizar agricultura mecanizada continua. Cubre un área de 245 ha que representan el 39% de la superficie total del ejido (633 ha).

Oe-ip-fs-n  
2

VI-INS, esta clase no permite el uso agrícola. Cubre un área de 39 ha equivalentes al 6% del área total del ejido.

Zm+Oe-n

2

V-NS, esta clase permite únicamente el establecimiento de ciertos tipos de agricultura con requerimientos de carácter especial. Cubre un área de 104 ha que representan el 16% del área total del ejido.

Zm-n

2

VI-NS, esta clase no permite el uso agrícola. Cubre un área de 93 ha que representan el 15% del área total del ejido.

### CONCLUSIONES

1. El Sistema de Clasificación de Suelos FAO, utilizado en el presente trabajo, resultó ser adecuado para los objetivos que se pretenden.
2. Las unidades taxonómicas halladas en la zona de estudio permitieron determinar con detalle las unidades cartográficas de suelos, pero la jerarquía del sistema (unidad y subunidad) a este nivel resulta insuficiente debido a que en los suelos existen características específicas (salinidad y sodicidad), bastante representativas como para integrar mayor detalle.
3. La salinidad, la sodicidad y la materia orgánica fueron algunos factores que interfirieron en las determinaciones fisicoquímicas, por lo que en los resultados existen incongruencias.
4. La presencia de la capa intermedia de color blanco en todos los perfiles de suelo que corresponde a una discontinuidad litológica de origen volcánico nos confirma que toda la zona estudiada tuvo influencia volcánica. Además, encontramos puntualmente un perfil que se clasificó como Andosol mólico.
5. La metodología de Bouyoucos (1963), para la determinación textural, no se recomienda

para los suelos hallados, ya que el alto contenido de materia orgánica, sales y sodio provoca dificultad en la cuantificación granulométrica.

6. Las características detectadas en los perfiles de suelos confirman que tienen un origen común: lacustre, palustre, aluvial y volcánico.
7. El alto contenido de materia orgánica y de humedad de los suelos determina requerimientos menores de fertilizantes y de lluvias para la producción de cultivos.
8. El elevado nivel demográfico e industrial, y la densidad urbana han provocado limitantes severas para el uso y manejo del suelo, tales como: salinidad, sodicidad, inundación y contaminación.
9. Para conservar este invaluable recurso natural, el hombre tendrá que sustentar nuevos y elevados índices de cultura, de lo contrario la ciudad terminará por invadir los terrenos del ejido, si éste no es protegido como una reserva eminente y potencialmente agrícola.

### LITERATURA CITADA

- ALFARO, S.G. y F. OROZCO CH. 1980. Estudio edafológico del ejido de Xochimilco (Ciénega Grande). Facultad de Ciencias, UNAM. Tesis de licenciatura.
- BLACK, C.A. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
- BLANCK, J.P. y B.P. KOROSEK. 1979. Etudes des courbes granulométriques globales (0.002-2 mm) pour l'analyse factorielle des correspondances. Application aux formations superficielles del "Llanos centrales" du Venezuela. Revue de Géomorphologie Dynamic, Géodynamique externe. Etude intégrée du milieu naturel. XXVIII année No. 1. Paris, France.

**BOUYOUCOS, G.J.** 1963. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. Soil Sci. 42: 25-30

**CUANALO, H.E.** 1970. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

**CHAPMAN, D.H.** 1976. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Department of Soil and Plant Nutrition, University of California. Riverside, California, EUA. Ed. Trillas. México, D.F.

**DETENAL.** 1975. Sistema de Clasificación de Suelos FAO/UNESCO, 1970, modificado por la Dirección General de Geografía, México, D.F.

**DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA.** 1975. Metodología para la cartografía nacional de suelos establecida en el Departamento de Edafología. México, D.F.

**FAO/UNESCO.** 1970. Keys to Soil Taxonomy (fourth printing). SMSS technical monograph No. 6 Cornell University Ithaca, New York.

**MUNSELL SOIL COLOR CHART.** 1973. Edition Munsell Color Company. Inc. Baltimore, Maryland, USA.

**WALKLEY, A.L. y A. BLACK.** 1947. A rapid determination of soil organic matter. Jour. Agric. Sci. 25: 598-63-68.

**DEFOLIACION DE LOS CAFETOS RESULTANTE DE ALGUNAS  
PROPIEDADES FISICAS DE SUELOS DE LADERA EN  
EL ORIENTE DE PUEBLA Y EL CENTRO DE VERACRUZ**

Coffee Tree Defoliation as a Result of Some Physical  
Properties of Hillside Soils in the East of  
Puebla and Center of Veracruz, Mexico

**W. Gandoy-Bernasconi**

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos,  
56230 Chapingo, México

*Palabras clave:* **Café, Capacidad de retención  
de humedad.**

*Index words:* **Coffee, Water retention capacity.**

**RESUMEN**

El proceso de defoliación de las plantas de café significa pérdida económica, debido a una menor producción de cerezas de café. En los períodos secos de casi todos los años, las plantas de café en las laderas sufren defoliaciones intensas. En aquellos años excepcionales, en los cuales el recorrido de los huracanes, tormentas tropicales o las provenientes del norte, permiten un suministro de agua pluvial más favorable, las plantas no se defolian. Esta respuesta favorable al incremento en precipitación pluvial o a una mejor distribución de la misma en el tiempo permite suponer que los suelos estudiados no amortiguan muy bien los efectos del clima local. Debido a ello se llevó a cabo el presente trabajo para entender desde el punto de vista de algunos parámetros del suelo, el comportamiento de los cafetos en los años

considerados normales, y de ahí, generar medidas de manejo y de selección de predios más propicios para la producción del aromático dentro de una región ya involucrada en la actividad cafetalera. Para ello, se tomaron 19 muestras de suelos en el este del Estado de Puebla y en el centro oeste del Estado de Veracruz, las cuales estuvieron ubicadas entre 1000 y 600 msnm, procediendo de suelos superficiales (0-30 cm) localizados en laderas de pendientes fuertes excepto una que procede de un plano horizontal.

Las variables analizadas presentaron los siguientes rangos: arcilla (4-67%), limo (21-50%) arena (11-52%), materia orgánica (2.1-15%), densidad aparente (0.68-1.13 g/cc), densidad real (2.18-2.73 g/cc), porosidad total (59-71%), microporos (30-59%), macroporos (2-36%), relación poros micro/macro (0.86-28.17), capacidad de campo, CC (38-70%), PMP (22-39%), relación CC/PMP (1.35-1.93), capacidad de retención de humedad (19.9-31.3%).

El agua disponible total (capacidad de retención de humedad) se correlacionó con las siguientes variables del suelo: CC (0.94), relación CC/PMP (0.93), materia orgánica (0.79), limo (0.72), microporos (0.70), PMP

Recibido 2-90.

(0.63), relación poros micro/macro (0.63), macroporos (-0.47), densidad aparente (-0.55), arcilla (-0.63).

De este estudio se concluyó que: (a) cuando la capacidad de retención de humedad es menor de 15% se presenta la defoliación en los suelos de ladera, en años considerados normales; (b) la conservación de los niveles de materia orgánica es vital para el mantenimiento de los valores de capacidad de retención de humedad (la evidencia de campo sugiere explorar el manejo de los árboles de sombra en este sentido); (c) la relación micro/macro porosidad incrementa la capacidad de retención mencionada, hasta un valor máximo de 9:1 y no hay correlación entre la porosidad total y dicha capacidad de retención por lo que debe evitarse aflojar el suelo en actividades como el control de las malezas; y, (d) los suelos de las partes más altas de la región y dentro de ellos los más limosos son los más convenientes para la producción cafetalera debido a una mayor capacidad de retención de humedad.

### SUMMARY

The defoliation of coffee trees means economic loss, due to a lower coffee berry yield. During the drier periods of mast years the coffee trees on steep-hillside soils suffer intense defoliations. In years with hurricanes, tropical storms and rain-bearing distivibances from the north, there is a more favorable water supply, and trees do not lose their folia-ge and maintain their coffee berries. It seems likely that these hillside spils are not very effective in retaining available soil moisture during periodo of drought. This work was carried out, therefore, in order to better understand the behavior of coffee trees in normal years, the relationship of this behavior to the water retention capacity (WRC) of soils, and the relationship between the latter and other soil variables.

Nineteen soil samples were taken from steep-hillside shallow soils (0-30 cm) in the east of the State of Puebla and the west center of the State of Veracruz. Their

altitudes above sea level ranged between 1000 and 600 m.

The ranges in the analyzed variables were: clay (4-67%), silt (21-50%), sand (11-52%), organic matter (2.1-15%), bulk density (0.68-1.13 g/cc), real density (2.18-2.73 g/cc), total porosity (59-71%), micropores (30-59%), macropores (2-36%), micro/macro pore ratio (0.86-28.17), FC (38-70%), PWP (22-39%), FC/PWP ratio (1.35-1.93), WRC (10.9-31.1%).

The Correlation coefficients between WRC and several soil variables: were as follows FC (0.94), FC/PWP ratio (0.93), Organic Matter (0.79), silt (0.72), micropores (0.70), PWP (0.63), micro/macro pore ratio (0.63), macropores (-0.47), bulk density (-0.55), clay (-0.63).

It was found that: (a) when the WRC is less than 15%, there is coffee tree defoliation in steep-hillside shallow soils, during normal years; (b) the preservation of organic matter levels is vital for maintaining the WRC levels; field evidence suggests graving coffee trees in the shade may help in maintaining organic matter levels; (c) the micro/macro porosity ratio increases the WRC upto a maximum value of 9:1, and there is no correlation between total porosity and WRC (soil loosening must be avoided); y (d) the higher altitude soils of the region, and among them those with higher silt contents are the most suitable ones for coffee production due to their greater WRC.

### INTRODUCCION

En México, el café se cultiva en regiones diversas. Debido a su importancia económica, investigadores de Instituciones Gubernamentales de México han evaluado diferentes aspectos del cultivo del café. Estos estudios se orientaron a determinar niveles adecuados de fertilización, de fungicidas, de densidades de siembra y de sombra, así como niveles de resistencia a la roya, siguiendo los modelos de caja negra. También se han evaluado suelos, fundamentalmente desde el punto de vista químico (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982; Villaseñor-Luque, 1987).

Sin embargo, debido a las condiciones de precios bajos que prevalecen actualmente en el mercado mundial, deben minimizarse los costos de producción para mantener a los caficultores dentro del mismo. Para ello, deben seleccionarse cuidadosamente cada uno de los lugares de producción, utilizando sólo aquellos más apropiados; y también, por su parte, es importante generar procedimientos de manejo físico de los suelos y del ambiente que rodea al café. Este asunto es obviamente complejo, pero puede subdividirse de modo de llegar a soluciones satisfactorias.

Un problema importante que afecta la producción en los suelos de ladera de pendiente fuerte es la defoliación de las plantas de café, la cual las debilita. Este proceso altera la consiguiente producción de cerezas de café. Es decir, la producción de las mismas desciende luego de una caída severa del follaje producida en los períodos más secos de algunos años (Clifford y Willson, 1985).

Dejando a un lado el ataque de enfermedades, hay dos causas de defoliación: insuficiente humedad disponible y epifitas que crecen sobre el follaje del café (Clifford y Willson, 1985).

Cuando el relieve se vuelve suave, las mismas variedades de café en suelos similares a los evaluados no presentan defoliación intensa, debido a que la relación entre escurrimiento e infiltración cambia. Por lo tanto, es importante evaluar la capacidad de los suelos de pendiente fuerte para retener agua aprovechable para las plantas en los períodos más secos.

Como la cantidad de agua disponible también depende del clima, se analizará primero en forma breve este factor.

En su origen, el café se encontró formando parte de la vegetación de las montañas de Abisinia, en altitudes comprendidas entre 1500 y 1900 metros sobre el nivel del mar (msnm). El clima imperante en dicha área se caracteriza por tener una

temperatura media de 17 a 20 grados C, con poca oscilación entre la temperatura máxima y mínima, y con una precipitación pluvial de 1500 a 2000 mm al año. (Villaseñor-Luque, 1987).

En las regiones cafetaleras de México, la precipitación pluvial media mínima es 1077 mm en San Bartolo Tutotepec, Hidalgo y la media máxima es 5075 mm correspondiente a San Jerónimo, Unión de Juárez, Chiapas. El promedio nacional de las regiones cafetaleras es de 2280 mm (Villaseñor-Luque, 1987).

En el Estado de Puebla la precipitación pluvial media anual es de 2749 mm, con una evapotranspiración de 915 mm y un excedente de 1834 mm. En el Estado de Veracruz la media anual es de 2302 mm, la evapotranspiración de 1096 mm y 1206 mm de agua excedente.

En la estación meteorológica de Tomata, (Municipio de Tlapacoyan, Ver.), ubicada a 650 msnm, y próxima al área de estudio, se presentan estas proporciones de lluvias: de enero a abril llueve un 4% mensual de las lluvias del año, en mayo el 5% y en junio el 12%, en julio el 14%; en agosto el 12%; en septiembre el 15%; en octubre el 12%; en noviembre el 8%; y en diciembre el 6% haciendo un total de 2727 mm (Villaseñor-Luque, 1987).

La simple relación de los elementos climáticos puros con el desarrollo de las plantas no se correlacionan a satisfacción y por eso en la literatura científica se propuso reemplazar el concepto de clima por el de agroclima (Azzi, 1959). De todos modos, los excesos y deficiencias de agua en los suelos tropicales tienen alto poder para predecir la variable dependiente "rendimientos" en modelos de superficie utilizados en la zonificación agroclimatológica, (García y Araque, 1975), la cual es el análisis del complejo clima-cultivo, que define tipos climáticos con la misma aptitud agrícola (García, 1971).

Pero los métodos agroclimáticos son poco útiles pues las variaciones espaciales dependen más de los factores ecológicos suelo

y topografía y de los factores agrotécnicos. De ahí que se hayan desarrollado métodos agroecológicos, -análisis del complejo clima-suelo-cultivo- (Seeman, 1979), de modo de obtener información de los mejores sitios para un cultivo. Para efectuar la zonificación agroecológica se determinan los requerimientos climáticos y edáficos del cultivo y luego se encuentra la zona útil.

Sin embargo, los métodos integrales son mejores ya que toman los factores clima, suelo, cultivo agrotecnia y socioeconómico, de manera de poder establecer con certeza las áreas geográficas donde prosperen con mayor éxito los cultivos (Seeman, 1979). Estos métodos parecen ser más apropiados para la planificación e introducción de nuevos cultivos a una zona o región, ya que el ajuste a nivel de ranchos de cultivos ya establecidos requeriría una información mucho más precisa de la que generan estos métodos con los datos que se encuentran disponibles actualmente.

Si se efectuara el análisis del área en estudio dentro de este marco conceptual, se tendría que los factores necesarios, cultivo y socioeconómico, ya están muy bien establecidos. El factor agrotecnia también está desarrollado pero debe adecuarse, debido a la presión que ejerce el cambio del marco de precios. Además, está claro que el clima todavía no se conoce bien por dos razones entre otras: primero, la altitud varía fuertemente en el área bajo estudio y es evidente que cada pocos kilómetros se producen cambios marcados de vegetación natural lo cual indica un número importante de cambios climáticos en el área; y segundo, la cantidad de años de observación es escasa en el área (ocho años).

Entonces, para dar soluciones efectivas e inmediatas a los interesados, si bien el fenómeno es complejo, puede efectuarse por ahora, el análisis de dos de los factores que intervienen: el suelo y el manejo físico, que se le puede dar a modo de amortiguar la variabilidad en la disponibilidad de agua en el suelo. Para ello, se definirán brevemente

las características de los suelos cafetaleros.

"Los mejores suelos para el cafeto son los profundos, con textura migajosa, estructura friable, buen drenaje y adecuada aereación. Un suelo ideal debe tener 60% de espacios vacíos, de los cuales un tercio debe estar ocupado por aire cuando está húmedo" (Villaseñor-Luque, 1987). Es decir, se ha propuesto que la relación microporos/macroporos óptima sea dos. Se informa también que debe existir una cantidad mínima de 10% de macroporos (Black, 1973), es decir, una relación máxima micro/macro porosidad de nueve.

"Un suelo liviano nunca es apropiado para los cafés Arábica, Robusta o Liberiano, así como tampoco es deseable una arcilla pesada. A través del mundo los suelos cafetaleros son en general friables y francos de origen laterítico o volcánico" (Haarer, 1962).

El drenaje debe ser bueno, y para ello hay que evitar las arcillas pesadas. Sin embargo, no es importante si el subsuelo es arcilloso, a condición de que el sistema radical del cafeto tenga penetración libre (Villaseñor-Luque, 1987). La profundidad óptima del perfil del suelo es de tres metros (Clifford y Willson, 1985), debido a que este sistema radical alcanza 2.5 metros de profundidad (Haarer, 1962). Es necesario tener alta capacidad de retención de agua para que exista suficiente agua aprovechable para mantener la evapotranspiración durante los periodos secos (Villaseñor-Luque, 1987).

Con respecto a los suelos mexicanos donde se cultiva café son (FAO): Luvisol, Rendzina, Regosol, Ferrasol, Vertisol, Fluvisol, Andosol y Litosol (Villaseñor-Luque, 1987).

La mayoría de los suelos son de origen volcánico, desarrollados probablemente sobre depósitos recientes, comúnmente cenizas volcánicas, pero pueden encontrarse también sobre depósitos muy intemperizados. De menor importancia son los desarrollados sobre rocas

sedimentarias silíceas o calcáreas (Villaseñor-Luque, 1987).

Las variables físicas de suelos mexicanos ya publicadas (Jimenez-Avila y Gómez-Pompa, 1982) son textura, densidades aparente y real, y color, las cuales fueron determinadas en diez perfiles de suelos de los Estados Mexicanos de Chiapas (Región Soconusco, Localidades: Cacahoatán, Unión de Juárez, Tapachula) y de Veracruz (Xalapa, Jilitepec, Casa Blanca, Xico, Teocelo, Berlin). Estos suelos fueron clasificados como Andept (ocho suelos), Ustox y Orthent.

No hay más información localizada sobre los aspectos físicos de los suelos cafetaleros mexicanos en la literatura científica especializada.

Este trabajo se enfoca a analizar la generación de defoliación desde el punto de vista de la capacidad de retención de humedad del suelo. También en este trabajo se analiza la relación existente entre capacidad de retención de humedad aprovechable del suelo y otras variables del suelo, para así generar por un lado, criterios de manejo físico del suelo para reducir la defoliación intensa del café a niveles normales en suelos de ladera y por otro, criterios para seleccionar fincas cafetaleras que se adecuen mejor a los intereses involucrados en la producción cafetalera. Para ello, se seleccionaron suelos muy diferentes en el este del Estado de Puebla y en el centro oeste del Estado de Veracruz, 325 km al este de la Ciudad de México.

### METODOLOGÍA

Se tomaron 19 muestras en seis fincas cafetaleras. La profundidad de muestreo fue 0 - 30 cm. Los suelos muestreados se formaron sobre cenizas volcánicas. Las elevaciones sobre el nivel del mar de las localidades (Li) muestreadas son: localidad L1 (muestras 11, 12, 13), 1000 msnm; L2 (muestras 21 y 22), 850 msnm; L3 (muestras 31, 32 y 33), 750 msnm; L4 (muestras 41, 42 y 43), 650 msnm; y L5,

muestras (51-1, 51-2, 51-3, 52, 53, 54, 55 y 56), 600 msnm. La distancia entre las localidades más altas y las más bajas es de 50 kilómetros. Todas las localidades, excepto la L2, se muestrearon en el transecto desde El Mohon, Puebla, hasta San José Acateno, Puebla. La localidad L2 se tomó en cuenta según su altitud sobre el nivel del mar, pero está a 40 km (Plan de Arroyos, Veracruz), del transecto mencionado arriba.

De manera de tener elementos de comparación, se seleccionaron lugares con y sin problemas de defoliación, con y sin sombra; una localidad con parcelas nuevas de café y un lugar (muestra 13) con pendiente cero. Se consideró a los lotes con defoliación cuando las plantas mostraban sus tallos en todo su porte sin follaje y se consideraban plantas normales cuando presentaban sus tallos cubiertos. Se estableció la asociación (relación causa-efecto) entre defoliación y las propiedades de suelo mediante el uso de correlaciones lineales.

No hubo problemas de defoliación en las localidades L1, L3 y L5 y en la parcela donde se tomó la muestra 22. Las muestras de las localidades L3 y L5 provienen de lotes cafetaleros con árboles de sombra. Las muestras de la localidad L1 son de parcelas relativamente nuevas con café de 4 años.

Se midieron: arena (Ar), limo (Lm), arcilla (Arc), materia orgánica (MO), densidades aparente (DA) y real (DR), porosidad total (Pt), capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP), relación CC/PMP, capacidad de retención de humedad (CRH), microporos (Mic), macroporos (MAC), relación micro/macro porosidad (m/M), pH y diámetro geométrico (DG).

Las variables Ar, Lm, Arc, MO, Pt, CC, PMP, CRH, Mic y MAC están expresadas en porcentaje.

Las relaciones CC/PMP y m/M, mencionadas arriba, son simples divisiones entre las variables CC y PMP y Mic con MAC.

Pt se calculó con los datos de DA y DR.  
Entonces:

$$Pt = \{1 - (DA/DR)\} * 100 \quad (1)$$

CRH se calculó restando los datos CC y PMP

$$CRH = CC - PMP \quad (2)$$

El porcentaje de microporos se calculó con la ecuación:

$$Mic = (CC * DA) / WD \quad (3)$$

donde:

CC y DA previamente definidas  
WD es la densidad del agua

El porcentaje de macroporos se calculó restando Pt menos Mic

$$MAC = Pt - Mic \quad (4)$$

Se aplicaron las técnicas de laboratorio mostradas por Klute (1986), y se calculó el diámetro geométrico medio de las partículas de acuerdo con Shirazi y Boersma (1984).

Cuando se determina densidad real (Baver *et al.*, 1973), utilizando agua para medir el volumen de la fase sólida, se obtienen valores menores de densidad real cuando las mismas partículas de arcilla son de menor tamaño debido a una retención mayor de agua sobre superficies específicas mayores. Esta humedad queda firmemente retenida y altera el resultado del volumen de suelo medido. Este problema fue tomado en cuenta cuando se analizó la relación Arc-DR.

Luego se obtuvieron los coeficientes de Pearson con el paquete SAS, en microcomputadoras AT. Posteriormente, estas correlaciones se evaluaron y relacionaron con la experiencia de campo.

La evaluación de los resultados se llevó al cabo desde el punto de vista de cómo se correlacionan las diferentes variables con la capacidad de retención de humedad (CRH).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características del área muestreada.

Para evaluar los resultados de laboratorio y para entender que sucede en el terreno, se presenta aquí información de campo.

En la región se siembran las variables arábicas Criolla Bourbon, Mundo Novo, Garnica y Caturra roja o amarilla. Desde hace pocos años, en las regiones con menor elevación fuera del área analizada en este trabajo, se llegan a producir defoliaciones severas causadas por la Roya (*Hemileia vastatrix*, Berck y Br), por lo cual aquéllas producen poco y caro. Luego, ellas deberían ser descartadas para la producción, y por lo tanto, no se incluyen en este análisis. Dentro del área muestreada en este trabajo, la planta de café convive con esta enfermedad debido a factores ecológicos, por lo cual la producción no está impedida.

En la parte más baja del área muestreada, (Localidad L5), el cultivo de café se combina con el cultivo de cítricos, siendo éstos utilizados también como sombra del café. Allí, hay excesos de humedad, porque el relieve es mucho más suave. Estos excesos de humedad favorecen la caída de los frutitos de café recién formados. Aplicando correcciones físicas sencillas, esta pérdida puede corregirse y transformarse en consecuencia, en un factor de incremento rápido de la producción de cereza de café. De todos modos, ahí, la producción por árbol tiende a mantenerse aceptable para el agricultor porque las cerezas son jugosas y por lo tanto más pesadas. La media anual por planta de café es 9.35 kg sin mayor mantenimiento. Sin embargo, el rendimiento de café pergamino de estas cerezas jugosas es menor: relación cereza/pergamino igual a 5. Con mayor altitud esta relación mejora: 4.2 al inicio de la cosecha en las partes próximas a esta zona de café y cítricos; hasta 3.8 al final de la cosecha, al igual que en las partes más altas de la región. Estas zonas más altas están produciendo un promedio de 7.86 kg de café cereza por planta y por año.

Se ha observado en la localidad L3, que la combinación de 1) la orientación fundamentalmente al norte, así como 2) la posición baja en el relieve, y también 3) un exceso de sombra, conduce a obvios niveles excesivos de humedad, tanto en el suelo, como en el aire que rodea al café. De ahí la aparición selectiva de excesos y deficiencias de agua que favorecen la aparición también localizada de algunas enfermedades y de defoliación, respectivamente.

Por último, en el área existen lugares topográficamente encerrados en los que se produce el fenómeno de resumidero geológico, es decir, desaparecen los arroyos o los encharcamientos debido a que el agua se infiltra muy rápidamente. En algunos casos los resumideros requieren que el agua alcance cierto tirante para infiltrarse como en el caso de la parcela donde se tomó la muestra 13. Esto produce eventualmente una saturación del suelo con el agua.

Respecto al clima del área, la estación meteorológica Las Margaritas, Puebla, ubicada entre las localidades L3 y L4, inició operaciones en julio de 1982 y reporta que (Cuadro 1) el período de lluvias parece

iniciarse en el mes de junio aunque el fin del período de lluvias voluminosas todavía no está bien definido debido al escaso número de años observados. A veces concluye en septiembre y otras veces en diciembre. Puede verse que, durante los pocos años de observaciones en las Margaritas, hubieron altas variaciones en las cantidades de lluvias recibidas mensual y anualmente (Cuadro 1). Esto depende de la ruta seguida por los huracanes, las tormentas tropicales y aquéllas venidas del norte. También sucede que la distribución de lluvias varía mensualmente, a veces con largos períodos sin precipitación por lo que se dan períodos de sequía; y a veces con chubascos pesados que hacen un alto porcentaje del total mensual que escurren sin ser aprovechados en buen porcentaje (Cuadro 2, 3 y 4).

Las pendientes, en general fuertes, producen grandes volúmenes de escurrimiento superficial y de sedimentos en el área, por lo que a pesar de existir lluvia suficiente y aún mayor a la requerida, no es utilizable totalmente, siendo un factor de riesgo de sequía y por tanto de defoliación. Existen también pendientes, suaves o nulas, que favorecen la acumulación de humedad, a veces en exceso.

Cuadro 1. Precipitación mensual, Las Margaritas, Puebla (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1982							422	214	283	319	194	79	1511
1983	126	74	90	52	114	136	924	451	527	314	244	212	3264
1984	178	55	25	52	470	336	842	684	744	122	115	92	3715
1985	93	150	217	221	201	424	465	594	376	344	194	276	3555
1986	95	71	38	201	140	302	327	179	236	567	400	160	2716
1987	32	11	110	85	209	478	729	363	449	60	158	121	2805
1988	89	89	176	241	130	649	312	522	443	280	157	158	3246
1989	93	118	82	153	138	114							698
MED	101	81	104	114	186	348	574	430	437	287	209	157	3073
MIN	32	11	25	52	114	114	312	179	236	60	115	79	
MAX	178	150	217	241	470	649	924	684	744	567	400	276	

Cuadro 2. Evento máximo de lluvia, mensual (MM)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dic
1982							33	57	140	59	108	18
1983	43	21	29	17	35	57	141	58	79	131	105	47
1984	66	21	12	26	120	52	92	127	116	46	29	31
1985	37	84	139	67	125	129	139	155	54	141	70	93
1986	32	19	23	80	60	46	62	39	40	140	144	28
1987	8	24	15	34	39	94	106	108	120	27	52	26
1988	23	22	68	144	53	214	70	121	196	87	6	61
1989	39	52	67	82	58	38						
MED	35	35	50	64	70	90	92	95	106	90	73	47
MIN	8	19	12	17	35	38	33	39	40	27	6	18
MAX	66	52	139	144	125	214	141	155	196	141	144	61

Cuadro 3. Número de días sin lluvia, mensual

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dic
1982							4	13	15	13	19	17
1983	10	13	18	20	19	19	4	8	10	15	11	16
1984	10	19	22	25	17	13	7	9	7	21	19	20
1895	19	14	17	15	23	13	11	11	13	15	20	15
1986	22	16	17	13	20	8	8	17	8	12	17	9
1987	24	17	11	16	16	10	5	10	13	22	20	20
1988	15	13	16	24	21	10	13	7	16	15	26	16
1989	18	18	25	20	22	20						
MED	17	16	18	19	20	13	7	11	12	16	22	16
MIN	10	13	11	13	16	8	4	7	7	12	11	9
MAX	24	18	25	25	23	20	13	17	16	21	26	20

Cuadro 4. Período más largo sin lluvia, mensual (días)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dic
1982							3	3	6	4	8	10
1983	4	4	8	8	8	6	1	3	2	4	3	5
1984	3	10	8	9	6	4	5	3	3	14	7	9
1985	7	4	4	4	9	7	4	7	4	5	8	6
1986	14	6	8	5	7	5	3	7	4	3	6	4
1987	9	5	7	5	6	4	4	5	5	8	8	11
1988	5	3	5	10	7	5	3	2	7	4	15	8
1989	7	7	12	8	8	11						
MED	7	6	7	7	7	6	3	4	4	6	8	8
MIN	3	3	4	4	6	4	1	2	2	3	3	4
MAX	14	10	12	10	9	11	5	7	7	14	15	11

Se ha visto empíricamente que el cultivo de café responde a estas variaciones en disponibilidad de humedad en suelos de ladera fuerte, por lo que es de suponer que estos suelos no amortiguan bien estos cambios climáticos.

En el área estudiada, se observa la defoliación de las plantas de café en los suelos de pendiente fuerte en los periodos más secos de algunos años. Esto produce una variación anual que impide que los volúmenes de producción de café sean estables en estos terrenos.

Debido a que estos suelos son superficiales (máximo 40 cm), las raíces del café exploran un volumen insuficiente. Esto es un factor edáfico que predispone a la defoliación. A veces la pedregosidad dentro del perfil incrementa el problema.

No hubo defoliación en aquellos suelos con capacidad de retención de humedad mayor de 15%, como ocurren en las localidades L1, L3,

L5 y en la parcela de la muestra 22. Entonces un resultado obvio es que para la zona, aquellos suelos con una diferencia entre capacidad de campo y de punto de marchitamiento permanente mayor de 15% no tendrán problemas de defoliación debida a deficiencias de humedad.

#### Altitud.

Como puede verse, se muestrearon suelos absolutamente diferentes. Por ejemplo, el contenido de arcilla oscila entre 4 y 67.5%, el contenido de materia orgánica entre 3.8 y 15% y la capacidad de retención de humedad entre 10.9 y 31.1% (Cuadro 5). Para analizar los suelos de acuerdo a sus altitudes, se efectuaron medias aritméticas de las variables por las localidades (Cuadro 6).

Si se pasa de la localidad más alta (L1) hacia la más baja (L5) (Cuadro 6), se observa por un lado, una tendencia al aumento del contenido de Arc y de la DR y por otro un

Cuadro 5. Información de 19 suelos

Muestra	Ar	Lm	Arc	MO	DA	DR	Pt	CC	PMP	CC/PMP	CRH	Mic	Mac	m/M	Ph	DG
11*	44	48	8	15.0	0.81	2.18	62.86	70.37	39.29	1.79	31.08	57.01	5.83	9.779	5.7	0.100
12	49	47	4	10.8	0.79	2.27	65.20	64.04	35.63	1.80	28.41	50.59	14.61	3.463	6.0	0.180
13	26	50.5	23.5	7.3	0.94	2.39	60.67	62.33	32.32	1.93	30.01	58.59	2.08	28.168	5.7	0.035
21	52	32	16	6.4	0.85	2.42	64.88	48.71	36.09	1.35	12.62	41.40	23.48	1.763	5.6	0.120
22	24	36	40	6.5	0.91	2.43	62.55	54.33	35.36	1.54	18.97	49.44	13.11	3.771	4.7	0.019
31	46	49	5	8.8	0.69	2.35	70.64	50.60	34.15	1.48	16.45	34.91	35.73	0.977	4.9	0.120
32	26	31.5	42.5	14.7	0.68	2.26	69.91	60.26	36.84	1.63	23.42	40.98	28.93	1.416	4.3	0.010
33	34	27	39	5.3	0.95	2.49	61.85	41.96	24.78	1.69	17.18	39.86	21.99	1.813	4.4	0.030
41	41.5	27.5	31	4.8	0.89	2.47	63.97	33.33	22.43	1.48	10.90	29.66	34.31	0.864	5.3	0.050
42	24	40	36	6.5	0.85	2.50	66	41.12	28.85	1.42	12.27	34.95	31.05	1.126	5.5	0.020
43	18.5	30	51.5	5	0.89	2.53	64.82	43.40	30	1.5	13.40	38.63	26.19	1.475	5.3	0.010
51-1**	11	25.5	63.5	4	1.02	2.65	61.51	40.65	28.69	1.42	11.96	41.46	20.05	2.069	4.5	0.005
51-2	13.5	23.5	63	4	1.04	2.71	61.62	44.27	30.95	1.43	13.32	46.04	15.58	2.955	4.5	0.005
51-3	13.5	31.5	55	3.9	1.08	2.66	59.40	46.46	32.28	1.44	14.18	50.18	9.22	5.442	4.4	0.008
52-1	13.5	29	57.5	4	1.02	2.67	61.80	40.63	29.69	1.37	10.94	41.44	20.36	2.035	4.7	0.008
53	19	34	47	4.4	1.04	2.67	61.05	39.37	26.23	1.50	13.14	40.94	20.11	2.036	5.1	0.012
54	18.5	31.5	50	4.2	1.04	2.65	60.75	40.63	28.46	1.43	12.17	42.25	18.50	2.284	4.9	0.010
55	18.5	36.5	45	4	1.13	2.73	58.61	38.17	25.76	1.48	12.41	43.13	15.48	2.786	4.7	0.012
56	11	21.5	67.5	3.8	1.04	2.68	61.19	43.55	31.75	1.37	11.80	45.29	15.90	2.848	4.4	0.004
Media	26.5	34.3	39.2	6.5	0.93	2.51	63.12	47.59	31.03	1.53	16.56	43.51	19.60	4.056	5.0	0.040
Mínimo	11.0	21.5	4.0	3.8	0.68	2.18	58.61	33.33	22.43	1.35	10.90	29.66	2.08	0.864	4.3	0.004
Máximo	52.0	50.5	67.5	15.0	1.13	2.73	70.64	70.37	39.29	1.93	31.08	58.59	35.73	28.168	6.0	0.180

\* Primer número (1 - 5): localidades

Segundo número (1 - 6): número de muestra, por localidad

\*\* Tercer número : 51-1, 52-1 parte superior

51-2 ladera

51-3 parte baja

Cuadro 6. Valores medios de las variables, por localidades

Muestra	Ar	Lm	Arc	MO	Da	Dr	Pt	CC	PMP	CC/PMP	CRH	Mic	Mac	m/M	pH	DG
AVG.L1.	39.66	48.5	11.83	11.03	0.846	2.28	62.91	65.58	35.75	1.84	29.83	55.40	7.50	7.387	5.8	0.105
AVG.L2.	37.7	34.15	28.15	6.43	0.88	2.425	63.71	51.52	35.72	1.445	15.80	45.42	18.29	2.483	5.1	0.069
AVG.L3.	35.33	41	33.33	9.6	0.773	2.366	67.46	50.94	31.92	1.6	19.02	38.58	28.88	1.336	4.5	0.056
AVG.L4.	28	32.5	39.5	5.43	0.876	2.5	64.93	39.28	27.09	1.45	12.19	34.41	30.55	1.126	5.4	0.027
AVG.L5.	14.81	29.12	56.06	3.47	1.051	2.677	60.74	41.72	28.62	1.43	12.49	43.84	16.90	2.594	4.6	0.008
Media	31.10	37.05	33.77	7.19	0.885	2.450	63.95	49.81	31.82	1.56	17.87	43.53	20.42	2.985	5.1	0.053
Mínimo	14.81	29.12	11.83	3.47	0.773	2.28	60.74	39.28	27.09	1.44	12.19	34.41	7.5	1.126	4.5	0.008
Máximo	39.66	48.5	56.06	11.03	1.05	2.677	67.46	65.58	35.75	1.83	29.83	55.4	30.55	7.387	5.8	0.105

AVG: promedio L1: localidad 1 L2: localidad 2 L3: localidad 3 L4: localidad 4 L5: localidad 5

descenso del porcentaje de partículas gruesas, de MO, CC, PMP, Mic, DG y de la CRH, así como también un descenso de las relaciones CC/PMP y m/M.

En la región evaluada, los suelos de menor altitud compensan una menor CRH con una mayor infiltración debido a su relieve más suave, manteniendo el nivel de producción comercial. Esto es positivo al caficultor, pero no para el beneficio. Donde es posible establecer drenes zanjas, se incrementará la producción por árbol, al conservar los frutitos que actualmente caen por la razón de exceso de humedad.

Entonces, en general, si los intereses de los productores y del beneficio convergen, los suelos de mayor altitud pueden ser más favorables para retener humedad sin excesos, dentro de los cuales los de mayor contenido de MO y de Lm serían los mejores (Cuadro 7 y 8).

#### Materia Orgánica.

La reducción de la materia orgánica (MO) conduce a la pérdida de CRH. Esto sugiere medidas de manejo para sostener el nivel de la MO, con ciertas especies de árboles de sombra, o manteniendo un cierto nivel de especies bajas seleccionadas o con la aplicación de estiércoles y también reduciendo la manipulación física del suelo.

Las tres primeras muestras (las de mayor altitud) proceden de una finca con relativamente escaso tiempo de manejo cafetalero (cuatro años), presentando altos

niveles de MO (Cuadros 5 y 6). Allí presenta niveles altos de CRH y no hay actualmente defoliación, y por lo mismo fueron tomadas como un nivel de comparación del contenido de MO.

Con respecto a los efectos de los árboles de sombra, observé que las muestras 51 a 56 pertenecen a los lotes cafetaleros con cítricos utilizados como cultivo combinado y también como sombra. Estos árboles ya tocan sus copas formando un dosel que no permite el crecimiento de malezas, ni tiran gran cantidad de hojas al suelo. Estas muestras de suelo tienden a mostrar menor MO (3.47%) y también muestra niveles bajos de CRH (Cuadro 6).

El caso de los encinos que impiden la defoliación y la producción, es otro ejemplo de la influencia de los árboles de sombra sobre la producción.

Se observan entonces efectos de la sombra sobre el ambiente del cultivo del café. En caso de decidir el uso de árboles de sombra, no se debe evaluar sólo en cuanto a su cantidad sino también según su especie botánica para obtener beneficios económicos.

Con respecto a otros procedimientos para mantener el nivel de MO, nadie en la región está utilizando ni especies vegetales pequeñas, ni estiércoles. La eliminación del uso de azadones recomendada por Instituciones Gubernamentales para reducir la erosión hídrica está siendo aceptada.

Como se observa, la CRH depende del CC; y CC a su vez depende entre otros factores de la

el concepto de CC como el de CRH, indican que la influencia de la MO es más poderosa que la ejercida por la Arc. En general se puede atribuir la CRH a buenos niveles de MO, sin embargo, las muestras 22 y 23 no muestran niveles tan buenos. Por lo tanto, intervienen otros elementos en la generación de la CRH, explicados en este documento.

#### Limo y Arcilla.

En otro orden de cosas, el análisis de correlación lineal muestra que el Lm se correlaciona positivamente con la CRH. El Lm favorece la CRH y se correlaciona inversamente con las Densidades Real y Aparente. El Lm al igual que la Ar y la MO aumentan la Pt, a diferencia de la Arc que la disminuye (Cuadros 7 y 8).

Un alto contenido de Arc se presenta como un problema para disponer de CRH suficiente para mantener la Evapotranspiración durante los periodos relativamente secos. A mayor arcilla, menor CRH.

Existe correlación positiva relativamente alta entre DR y Arc (Cuadros 7 y 8). Como la cantidad de arcilla aumenta cuando la altitud es menor, significaría que los suelos observados presentan una variación en la

mezcla mineralógica, lo cual resulta lógico por la intensificación de los procesos de intemperismo. A medida que se baja, el clima es más caliente y húmedo.

Al determinar DR (Baver *et al.*, 1973), utilizando agua para medir el volumen de la fase sólida, se obtienen valores mayores (de densidad real) con las partículas más grandes de arcilla, debido a una menor retención de humedad sobre sus menores superficies específicas. Entonces a menor altitud, el aumento de la densidad real no significaría que una misma especie mineral estaría desarrollando granos más grandes, sino que se estaría produciendo un cambio en la composición de la fase sólida del suelo.

El comportamiento de la CC refleja el nivel de cargas de los coloides y también la relación existente entre éstos y el PH; por tanto, pueden analizarse para entender mejor estos coloides.

El contenido de arcilla está correlacionado negativamente con la CC, aunque el promedio de la arcilla en la localidad L1 sea 11.83% y crezca hasta 56.06% en el sitio L5, lo cual sugeriría que esos cambios no son tan relevantes comparados con otros (Cuadros 7 y 8). Como se observa, la CRH depende de CC y ésta a su vez depende directamente del

Cuadro 7. Coeficientes de Pearson. 19 suelos

Variable	Ar	Lm	Arc	MO	Da	Dr	CC	PMP	CC/PMP	CRH	Pt	Mic	Mac	m/M	pH
Arena															
Limo	0.55														
Arcilla	-0.93	-0.82													
Mat.Org.	.575	0.59	-0.66												
Dens.Ap.	-0.715	-0.50	0.71	-0.80											
Solid d.	-0.78	-0.65	0.83	-0.90	0.89										
FC	0.45	.675	-0.61	0.84	-0.58	-0.80									
PWP	0.35	0.46	-0.44	0.72	-0.56	-0.64	0.86								
FC/PWP	0.41	0.75	-0.57	0.63	-0.37	-0.67	0.75	0.31							
Cap.Ret.H.	0.45	0.72	-0.63	0.80	-0.51	-0.79	0.94	0.63	0.93						
Porosid.T.	0.54	0.30	-0.50	0.61	-0.93	-0.66	0.31	0.41	0.06	0.20					
Microporos	-0.04	0.41	-0.15	0.31	0.13	-0.23	0.72	0.57	0.60	0.71	-0.41				
Macroporos	0.225	-0.22	-0.06	-0.04	-0.43	-0.05	-0.47	-0.31	-0.46	-0.50	0.68	-0.95			
Micro/MACRO	0.02	0.52	-0.25	0.19	0.04	-0.25	0.52	0.23	0.69	0.64	-0.28	0.72	-0.68		
pH	0.63	0.67	-0.73	0.35	-0.39	-0.53	0.41	0.24	0.43	0.46	0.18	0.20	-0.10	0.36	
Diam.Geom.	0.90	0.62	-0.89	0.56	-0.64	-0.70	.555	0.50	0.51	0.51	0.48	0.14	0.06	0.04	0.66

contenido de MO, del limo y de los microporos.

Así mismo, podría inferirse como trabajan los coloides inorgánicos del suelo, comparando las correlaciones entre acidez y contenidos de arcilla y de MO (Cuadros 7 y 8). El contenido de arcilla presenta una correlación negativa (-0.7) con el pH relativamente más fuerte que la positiva (0.3) presentada por la materia orgánica. Es decir, al aumentar el contenido de la arcilla tiende a acidificarse el suelo sin mayor amortiguamiento, lo cual sucede cuando se pasa desde la localidad de mayor altitud (L1) a la (L5).

#### Sistema poroso.

El sistema poroso se relacionó con la CRH según Pt, Mic, MAC, relación m/M y DG.

De acuerdo a la teoría del empaque de las partículas, se puede establecer una relación proporcional entre el tamaño de las partículas, y el tamaño de los poros según el empaque que se utilice. En este caso DG se refiere a tamaño de partículas, lo utilizaremos como un indicador del tamaño de poros. Para más detalle en este concepto, sugerimos revisar a Childs (1969) y Gupta y Larson (1979).

Parece ser que la cantidad de microporos, la relación m/M, así como el DG medio favorecen la CRH. Es interesante ya que si bien el mayor porcentaje de microporos parece favorecer el aumento de la CRH, el tamaño de los poros parece ser menor del óptimo debido a la correlación positiva existente entre CRH y DG. Así mismo, en la literatura (Villaseñor-Luque, 1987) se menciona que la relación óptima m/M es 2, y también se sugiere (Black, 1973) un máximo de 9. Sin embargo, en estos suelos parece no haber llegado a un máximo excepto la muestra 11. La relación m/M de la muestra 13 es 28, la cual procede de un plano horizontal donde se encharca levemente. Parece ser una condición adversa para el café.

Observé que la Pt es relativamente estable en las diferentes localidades (Cuadro 6) y no manifiesta una relación de importancia con CRH (Cuadro 8).

#### Posición topográfica.

La distancia entre las muestras 51-i (i: 1 - parte superior; 2 - ladera; 3 - parte baja) fue de 20 metros y de 200 metros entre la 51-1 y la 52-1. Si se observan las muestras provenientes de los sitios 51, y 52, parece verse que la posición topográfica (i) no

Cuadro 8. Coeficientes de Pearson de medias por localidades.

Variable	Ar	Lm	Arc	MO	Da	Dr	CC	PMP	CC/PMP	CRH	Pt	Mic	Mac	m/M	pH
Arena															
Limo	0.76														
Arcilla	-0.93	-0.88													
Mat.Org.	0.83	0.98	-0.87												
Densid.Ap.	-0.85	-0.68	0.69	-0.81											
Densid.Rl.	-0.96	-0.91	0.95	-0.95	0.87										
FC	0.75	0.91	-0.89	0.86	-0.47	-0.83									
PWP	0.79	0.66	-0.80	0.66	-0.41	-0.72	0.88								
FC/PWP	0.55	0.95	-0.76	0.87	-0.44	-0.745	0.88	0.55							
Cap.Ret.H.	0.68	0.965	-0.86	0.90	-0.48	-0.82	0.965	0.72	0.97						
Porosid.T.	0.53	0.31	-0.27	0.48	-0.88	-0.53	0.03	0.02	0.05	0.05					
Microporos	0.36	0.61	-0.61	0.48	0.07	-0.43	0.845	0.76	0.72	0.79	-0.51				
Macroporos	-0.16	-0.43	0.44	-0.28	-0.29	0.22	-0.70	-0.63	-0.59	-0.65	0.69	-0.65			
Micro/MACRO	0.38	0.72	-0.68	0.57	-0.03	-0.51	0.85	0.62	0.85	0.87	-0.43	0.87	-0.90		
pH	0.48	0.49	-0.70	0.38	-0.20	-0.51	0.50	0.33	0.51	0.55	-0.17	0.55	-0.45	0.67	
Diam.Geom.	0.90	0.89	-0.98	0.88	-0.63	-0.93	0.95	0.89	0.79	0.90	0.19	0.90	-0.55	0.73	0.60

afectaría el contenido de MO. En la parte inferior, por un lado, parecen ser menores la cantidad de Arc, de Pt y de MAC, por otro lado parecen aumentar la DA, la CC, la PMP, la CRH y los Mic. La menor cantidad de Arc, podría estar indicando un proceso de diferenciación de horizontes lo cual estaría informando también de un comportamiento del régimen hídrico. Comparando estas tendencias, con las correlaciones a nivel global, hay congruencia general.

Las muestras 11 y 13 se parecen a la muestra 51-3 en su reducción de MAC hasta un valor menor de 10%, en su aumento en la relación m/M a valores mayores de 5, en el incremento de CRH, así como en su posición topográfica. Ambas muestras pertenecen a dos depresiones planas más o menos extensas, la primera con una pendiente muy baja (2 %) y la segunda es una planicie horizontal de 8 hectáreas rodeada de una ladera pequeña de 10 metros de longitud.

Sin embargo, los lugares encerrados que no se comporten como resumidero geológico, como en el caso del lote donde se extrajo la muestra 13, deben descartarse para el cultivo del café.

### CONCLUSIONES

Para tener mayor capacidad de retención de humedad, es importante seleccionar suelos con mayor contenido de materia orgánica natural o incorporada, suelos más limosos y menos arcillosos, de preferencia en zonas de mayor altitud.

Para obtener niveles de producción estables, manteniendo a la planta sin debilitamiento por defoliación, es necesario sostener los niveles de materia orgánica por diferentes mecanismos fácilmente disponibles por el caficultor.

La materia orgánica parece estar relacionada con la mayor altitud, con la menor cantidad de años de explotación y con el tipo de vegetación que da sombra al café, entre otros.

En los suelos de mayor altitud y con capacidad de retención humedad mayor de 15%, no hubo defoliación intensa del cafeto, manteniéndose una producción anual estable.

En la región evaluada, los suelos de menor altitud compensan una menor capacidad de retención de humedad con una mayor infiltración debido a su relieve más suave.

La posición topográfica más baja en un sitio reduce el porcentaje de macroporos, a veces hasta niveles peligrosos para la planta de café. Sin embargo, la capacidad de retención de humedad parece incrementarse.

Los lugares encerrados que no se comporten como resumideros geológicos se deben descartar para el cultivo del café.

La selección de ranchos a mayor altitud es un criterio principal para equilibrar los intereses del agricultor y del industrial, especialmente cuando se conjugan en una misma persona.

Es recomendable investigar los efectos de la sombra (cantidad y especie) sobre el ambiente físico y químico del cultivo del café.

### LITERATURA CITADA

AZZI, G. 1959. Ecología agraria. Barcelona, España.

BAVER, L.D., W.H. GARDNER, W.R. GARDNER. 1973. Física de suelos. UTEHA, México, D.F.

BLACK, C.D. 1973. Relación suelo planta. H.Sur. Argentina.

CHILDS, E.C. 1969. An introduction to the physical basis of soil water phenomena. John Wiley and Sons Ltd. London.

CLIFFORD M.N., K.C. WILLSON. 1985. Coffee. Botany, biochemistry and production of beans and beverage. The AVI Pub. Co., Inc.

**GARCIA BENAVIDES, J.** 1971. Clima agrícola de *Citrus sinensis*. *Agronomía tropical* 21 (2):71-89. Venezuela.

**GARCIA BENAVIDES J., R. ARAQUE.** 1975. Zonificación de la producción agrícola. I Parte: Región Capital. (estudio de los marcos de referencia biofísico y socioeconómico tentativo). Consejo de bienestar Rural. Caracas.

**GUPTA, S.C., W.E. LARSON.** 1979. A model for predicting packing density of soils using particle-size distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 758- 764.

**HAARER A.E.** 1962. *Modern coffee production.* Leonard Hill Books Ltd. London.

**JIMENEZ-AVILA E., A. GOMEZ-POMPA.** 1982. Editores. *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero.* CECSA. México.

**KLUTE, A.** 1986. *Methods of soil analysis.* Editor. *Agronomy No. 9, Part 1.* (2a. ed.). ASAE. USA.

**SEEMAN, L.** 1979. *Agrometeorology.* Springer Verlag, Berlin, Alemania.

**SHIRAZI, M.A., L. BOERSMA.** 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:142-147.

**VILLASEÑOR-LUQUE, A.** 1987. *Caficultura moderna en México.* Saenz Colin y Asociados. México.

## CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA Y AGROPLASTICOS PARA LA PRODUCCION DE MAIZ DE TEMPORAL

Microcatchments and Agroplastics For the Production of Rainfed Corn

Jaime Ruíz Vega y Miguel A. Cano García

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias  
Campo Experimental Valles Centrales  
Apartado Postal 33, Suc. "B"  
68000 Oaxaca, Oax.

*Palabras clave:* Sequía, Agricultura tradicional, Densidades de Población.

*Index words:* Drought, Traditional farming, Population densities.

### RESUMEN

Con los objetivos de evaluar el efecto de microcuencas de captación, agroplásticos y densidades de población sobre la producción de maíz de temporal, se condujeron dos experimentos de campo.

Se observaron efectos altamente significativos de plástico y densidad de siembra en un experimento, más no para la interacción de éstos. Sin embargo, los rendimientos obtenidos con microcuencas de 1.20 m de ancho no superaron el surcado tradicional, obteniéndose los máximos rendimientos al aplicar el plástico al surcado tradicional al momento de la primera labor.

En el otro experimento al incrementarse la amplitud de la microcuenca se disminuyó significativamente el rendimiento del maíz,

mientras que el efecto del plástico fue significativo sólo al 0.11 de probabilidad.

Se concluye que la aplicación del plástico al surcado tradicional después de la primera labor, es la única alternativa recomendable para la conservación de humedad en el área de los Valles Centrales de Oaxaca.

### SUMMARY

Two field experiments were conducted to evaluate the effects of microcatchments, agroplastics and population densities on rainfed corn yields.

The effects of agroplastics and population densities on corn yields were highly significant in one experiment; the interaction between these factors was not significant. Corn yields from 1.20 m microcatchments, however, were not statistically different from those observed under traditional farming; the latter gave the highest yields when mulched with plastic.

In the other experiment, corn yields were significantly reduced as the size of the microcatchment area increased. The effect of plastic was significant at the 0.11 probability level only.

---

Recibido 4-90.

It was concluded that the application of plastic to the farmer's plots after the first cultivation is the only recommendation which can be derived from this study.

## INTRODUCCION

En la región de los Valles Centrales de Oaxaca la presencia de la sequía intraestival limita los rendimientos de los cultivos de temporal, especialmente los rendimientos de maíz. Un 89% de las 126 000 ha dedicadas a cultivos anuales de temporal se siembran con este cereal.

El período lluvioso comprende desde mediados de mayo hasta septiembre, con sequía intraestival entre el 10 de julio y 10 de septiembre, inclusive (Ruíz, 1987). El total de la lluvia anual se distribuye de la manera siguiente: mayo 14%, junio 21%, julio 16%, agosto 15% y septiembre 17%. La mayor parte de los productores siembran en junio, el cual es el mes con mayor precipitación.

La sequía intraestival a menudo coincide con la floración, la cual es la etapa fenológica más sensible a sequía en este cultivo (Denmead y Shaw, 1960; Fernández y Laird, 1965). El uso consuntivo del cultivo se determina por el agua evaporada desde el suelo y la transpirada por éste. En las primeras etapas de desarrollo la cantidad de agua utilizada en evaporación es mayor que la utilizada en transpiración, especialmente si el suelo está húmedo en la superficie. A medida que se acumula el área foliar, la evaporación disminuye considerablemente, representando la transpiración la mayor parte del uso consuntivo (Shaw, 1977). Una forma de disminuir drásticamente la evaporación es con el uso de plásticos. En Estados Unidos, Aldrich y Leng (1974), reportaron que cubriendo el suelo con plástico, se pueden producir  $6.0 \text{ ton ha}^{-1}$  de maíz con solo la humedad almacenada durante el invierno. Aun cuando en los Valles Centrales de Oaxaca no existe humedad residual de un año a otro, se podría conservar más humedad para el cultivo si se arrojara el suelo a fines del mes de

junio, el cual es el más lluvioso. También en este mes el maíz ha desarrollado poca área foliar, por lo cual la aplicación de plástico reduciría considerablemente la evaporación.

El uso de microcuencas de captación permite concentrar la precipitación en la zona radicular, lo cual, teóricamente, es benéfico para el cultivo. La utilización de microcuencas de captación en el cultivo del maíz ha producido resultados inconsistentes en la región (Luévanos, 1978; Ruíz, 1986). Esto se debe en parte a el bajo coeficiente de escurrimiento del suelo, y a que al ampliar el espacio entre hileras de maíz, también se incrementa la evaporación (Blad, 1983). La cobertura con plástico del área de captación, puede resolver ambos problemas, resultando en altos coeficientes de escurrimiento y en una reducción drástica de la evaporación.

Con los objetivos de evaluar los efectos del acolchado con plástico, de diferentes anchos de microcuenca y de diferentes densidades de siembra, se condujeron durante 1987 dos experimentos de campo.

## MATERIALES Y METODOS

Se establecieron dos tipos de experimentos. En el tipo I se evaluó el efecto del plástico sobre el rendimiento de maíz a diferentes densidades de siembra, en microcuencas de 1.20 m de ancho. En el tipo II se evaluó el efecto del plástico a densidad de siembra constante y amplitudes de microcuenca de 0.60, 0.90 y 1.20 m. Se utilizó plástico negro calibre 600.

Se utilizaron en ambos experimentos diseños factoriales de tratamientos, incluyendo en el experimento tipo I dos tratamientos adicionales. El diseño experimental empleado fue de bloques al azar, con 4 y 3 repeticiones para el experimento tipo I y II, respectivamente.

En el experimento tipo I el plástico se instaló hasta después de la primera labor, cubriendo solamente el área de captación.

En el experimento tipo II el plástico se instaló antes de sembrar, utilizando un densidad de siembra constante de 40 000 plantas/ha.

La fórmula de fertilización empleada fue la 60-30-0, fraccionándola para aplicar 50% N+100% P a la siembra y 50% N a la primera labor. Las fechas de siembra fueron 7 de julio y 21 de julio de 1987, en un suelo clasificado como Cambisol, de textura intermedia.

### RESULTADOS Y DISCUSION

La precipitación recibida durante el desarrollo del cultivo fue limitativa, especialmente en cuanto a distribución en el experimento tipo I, donde existieron condiciones de humedad cercanas a PMP por 10 días antes de aplicar el plástico.

El contenido de humedad en los tratamientos con plástico estuvo en promedio de 1.0-1.8% arriba de los tratamientos sin plástico, siendo más grande la diferencia bajo sequía. Sin embargo, las diferencias sólo fueron significativas estadísticamente para, observaciones realizadas durante fechas de baja humedad en el suelo.

El análisis estadístico de los rendimientos de grano mostró resultados altamente significativos en ambos experimentos. A continuación se discuten cada uno de ellos.

En el experimento I el tratamiento 8 fue el más rendidor, seguido por tratamiento 6 (Cuadro 1), pero no existen diferencias estadísticas entre ellos. En el tratamiento 8 el plástico se instaló como tiras transversales a los surcos después de realizar la primera labor.

El tratamiento 7, el cual puede considerarse el testigo, produjo menores rendimientos que el tratamiento 8, atribuyéndose este efecto al plástico. Ninguno de los tratamientos con amplitud de microcuencas a 120 cm superó al tratamiento 7, debido a una menor densidad de siembra/ha.

Cuadro 1. Rendimientos de maíz en el experimento tipo I para diferentes tratamientos (TRT) de amplitud de microcuencia (AM), densidades de siembra (DS) y aplicación de plástico (PLAS).

Trat.	AM	DP	PLAS	GRANO	
	(cm)	(P ha <sup>-1</sup> )			
1	120	20 000	No	134	d <sup>1)</sup>
2	120	20 000	Si	299	bc
3	120	25 000	No	353	bc
4	120	25 000	Si	415	bc
5	120	30 000	No	225	cd
6	120	30 000	Si	487	ab
7	60	30 000	No	394	bc
8	60	30 000	Si	602	a

1) Tukey al 0.05

C.V. = 22.8%

A fin de evaluar con más rigor el efecto de densidades de siembra y plásticos, se analizó el factorial del experimento tipo I, encontrándose efectos altamente significativos para ambos factores (Cuadro 2), la mejor densidad de siembra fue de 25 000 plantas ha<sup>-1</sup>, la cual produjo un incremento en rendimientos del 78% (168 kg ha<sup>-1</sup>) en relación a 20 000 plantas ha<sup>-1</sup>. El plástico produjo un incremento del 60% (163 kg ha<sup>-1</sup>) en relación a los tratamientos sin plástico. Sin embargo, la interacción entre estos factores no fue significativa.

Cuadro 2. Análisis de varianza para el factorial del experimento tipo I.

Fuente	G.L.	CME	F
REP	3	24 982	2.77
DP	2	64 756	7.17**
PLAS	1	159 414	17.65**
INT	2	20 057	2.2
ERROR	15	9 033	

C.V. (%): 29.8

Los resultados del experimento I indican que la siembra de maíz en microcuencas, con o sin plástico, no produce mayores rendimientos que el surcado tradicional, y que la aplicación del plástico en forma transversal al surcado tradicional, después de la primera, es una mejor práctica.

En el experimento II, se tuvieron efectos altamente significativos para amplitud de microcuencas, más no para el efecto de plástico (Cuadro 3). El efecto de plástico fue significativo sólo al 0.11 de probabilidad, atribuyéndose esto a que sólo se utilizaron 3 repeticiones en el experimento.

Cuadro 3. Análisis de varianza del experimento tipo II.

Fuente	G.L.	CME	F
REP	2	283 090	3.76
AM	2	1 197 412	15.89**
PLAS	1	227 362	3.02
INT	2	109 612	1.45
ERROR	10	75 347	

C.V. (%): 26.5

El Cuadro 4 muestra los rendimientos de maíz obtenidos para distintos tratamientos en el experimento II. El efecto del plástico fue mayor en las amplitudes de 120 cm incrementando el rendimiento en 113% (384 kg ha<sup>-1</sup>) en relación a su homólogo sin plástico, mientras que en la amplitud de 90 cm se tuvo un incremento del 38% (377 kg ha<sup>-1</sup>).

Cuadro 4. Rendimientos de maíz en el experimento II para diferentes tratamientos (TRT) de amplitud de microcuenca (Am) y aplicación de plástico (PLAS).

TRT	AM	PLAS	GRANO
	cm		(kg ha <sup>-1</sup> )
1	60	No	1435 a <sup>1)</sup>
2	60	Si	1349 a
3	90	No	988 ab
4	90	Si	1365 a
5	120	No	341 c
6	120	Si	725 bc

1) Tukey al 0.05

La tendencia general al aumentar el ancho de la microcuenca o surcado es a la disminución del rendimiento, siendo esta disminución más acentuada en el tratamiento sin plástico (Figura 1). Esto indicaría que al incrementar el ancho de surcos manteniendo constante la densidad de población, se incrementa la competencia por humedad en la zona radicular, además de la competencia por luz, lo cual disminuye el rendimiento. Corroboró la anterior afirmación el hecho de que el mayor rendimiento se obtuvo con la microcuenca menos amplia, pero estos rendimientos no son diferentes a los obtenidos con el surcado tradicional a 60 cm.

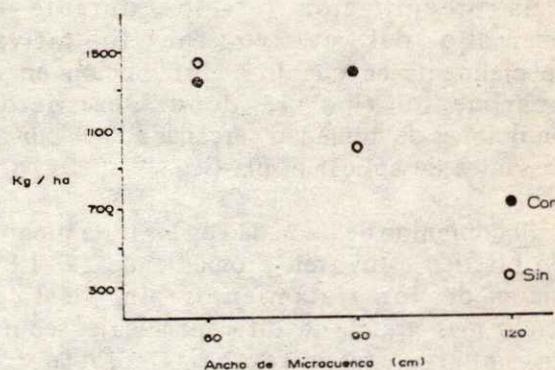


Figura 1. Rendimiento de maíz a 40 000 plantas/ha para tres anchos de microcuenca con y sin plástico.

En cuanto a la factibilidad económica de utilizar plásticos para la producción de maíz, esta debe contemplarse a largo plazo. La instalación del plástico en tiras transversales a los surcos incrementa su duración, ya que sólo permanece en el campo desde la primera labor, hasta madurez fisiológica. De esta manera se cuadruplica su vida útil, la cual bajo instalación continua es de 2-3 años.

## CONCLUSIONES

El plástico incrementa significativamente los rendimientos de maíz al disminuir drásticamente la evaporación. La aplicación del plástico al surcado tradicional en forma de tiras transversales después de la primera

labor es una buena alternativa para la conservación de humedad.

La disminución en el rendimiento de maíz al incrementar el ancho de la microcuencia y mantener la población de plantas/ha constante proviene de un incremento en competencia por humedad, principalmente.

La tecnología de microcuencas de captación no es aplicable a las condiciones de producción del maíz de temporal de la zona, ya que el surcado tradicional produjo resultados estadísticamente iguales, pero superiores numéricamente, a los mejores tratamientos con microcuencas.

#### LITERATURA CITADA

**ALDRICH, S.R. y E.R. LENG.** 1974. Producción moderna de maíz. p. 117. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.

**BLAD, B.L.** 1983. Energy balance. pp. 1-26 *In:* I.D. Teare y M. Peet (eds). Crop Water relations. John Willey and Sons, New York.

**DENMEAD, O.T. y R.H. SHAW.** 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 54: 385-390.

**FERNANDEZ G.R. y R.J. LAIRD.** 1965. Efectos de la sequía durante el espigamiento en maíz fertilizado con diferentes cantidades de nitrógeno. Folleto Técnico No. 30. OEE, SAG, México.

**LUEVANOS, A.A.** 1978. Evaluación de microcuencas de captación para la producción de maíz de temporal. pp. 31-33. Informe anual de investigación. Campo Agrícola Experimental Valles Centrales de Oaxaca. INIA-SARH, Oaxaca.

**RUIZ, V.J.** 1986. Prácticas de captación de agua de lluvia, aplicación de estiércol y labranza para la producción de maíz-frijol. pp. 125-130. Informe anual de investigación. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP-Oaxaca.

**RUIZ, V.J.** 1987. Rainfall probabilities and corn yields in the central Valleys of Oaxaca, México. WMO Workshop on significant weather elements prediction and objective interpretation methods. pp. 25-28. PSMP Report series No. 26 Geneva, Suiza.

**SHAW, R.H.S** 1977. Climate requirement. pp. 591-617 *In:* G.F. Sprague (ed). Corn and corn improvement. Series agronomy No. 18. Amer. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin.

**COMPARACION DE DOS METODOS DE INTERPRETACION FOLIAR  
EN NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*)**

Comparison of Two Methods of Foliar Interpretation  
on Pecan Trees (*Carya illinoensis*)

Ma. del Consuelo Medina M.

CIFAP-Región Lagunera-INIFAP  
Apartado Postal # 247, 27000 Torreón Coahuila

*Palabras clave:* *Carya illinoensis*, DRIS,  
Intervalo de suficiencia, Nutrición.

*Index words:* *Carya illinoensis*, DRIS,  
Sufficiency interval, Nutrition.

**RESUMEN**

Se realizó la interpretación foliar de 38 árboles de nogal pecanero, en la Comarca Lagunera, mediante dos métodos: 1) El sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), cuyos índices se calcularon con las normas desarrolladas a partir de 297 observaciones en la región y 2) El Intervalo de suficiencia de Arizona E.U.A. Según el DRIS, los cuatro nutrimentos más deficientes son: Mn=Fe>Zn=B en el 42-53% de árboles. De acuerdo a los valores más negativos de los índices DRIS en los 38 árboles, el orden de requerimientos es: Mn>B>Cu>Zn>Fe>P>N>Ca>K>Mg. Según el Intervalo de suficiencia, los más deficientes son: Cu, Zn, Mg, N, B, Ca y Mn en el 45-100% de árboles. Ambos métodos coinciden en cuatro nutrimentos deficientes: Mn, B, Zn y Cu. El Intervalo de suficiencia no detectó el orden de requerimientos ni la deficiencia de Fe. Las ventajas del DRIS son

que refleja el balance nutrimental e identifica el orden en que están los nutrimentos. Existe un 47% de árboles que no tienen problema nutrimental, un 10% que si tienen y un 37% donde el problema principal que reduce el rendimiento no es nutrimental.

**SUMMARY**

The foliar interpretation of 38 pecan trees was carried one in the Comarca Lagunera using two methods: 1) The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) whose indices were calculated using the norms developed with 297 observations in the region and 2) The Sufficiency interval of Arizona, U.S.A. According with DRIS in 42-53% of the pecan trees the 4 nutriments most deficient were: Mn=Fe>Zn=B. According with the most negative values of the DRIS index of the 38 pecan trees, the order of requirements is: Mn>B>Cu>Zn>Fe>P>N>Ca>K>Mg. According with the Sufficiency interval the most deficient nutriments were: Cu, Zn, Mg, N, B, Ca and Mn in 45-100% of the pecan trees..The sufficiency interval did not detect the order of requirements nor the Fe deficiency. Both methods coincide in 4 deficient nutriments: Mn, B, Zn and Cu. The advantages of the DRIS Method are that it reflects the nutrimental balance and identifies the order of

requirements of the nutriment. In 47% of the pecan trees there are no nutrimental problems, in 10% there are nutrimental problems and in 37% the main problem that reduces yield is not nutrimental.

## INTRODUCCION

En nogal pecanero (*Carya illinoensis*), se han establecido intervalos de suficiencia como una guía para el diagnóstico nutrimental en varios estados de E.U.A. como Arizona (Kilby y Mielke, 1982); Louisiana (O'Barr y Mc Bridge, 1980); Georgia (University of Georgia, 1974-79) y Texas (Stockton, 1985); pero no reportan que se hayan obtenido mediante curvas de respuesta o valores críticos, solamente que son los valores óptimos para obtener una buena producción. Probablemente se obtuvieron de un muestreo de las huertas con mayor producción de la región. Sin embargo, este método no considera la interacción de nutrimentos ni el balance nutrimental.

La interacción de nutrimentos ocurre cuando el abastecimiento de uno afecta la absorción, distribución o función de otro, así, dependiendo del abastecimiento del nutrimento, las interacciones pueden inducir deficiencias o toxicidades y pueden modificar la respuesta en crecimiento (Robson y Pitman, 1983). Por ejemplo, se han reportado efectos de un nutrimento aplicado sobre la concentración de otros y se encontró que existen correlaciones positivas y negativas, en varios frutales, de N con P, Ca y Mg (Emmert, 1961). En nogal pecanero se han reportado algunas deficiencias provocadas por desbalances de nutrimentos. El secado de las hojas y la defoliación prematura severa, se deben a un desbalance entre N y K, este síntoma se incrementa con la aplicación de N y disminuye al adicionar K (Sparks, 1976). Por otro lado la aplicación de K al suelo puede disminuir agudamente la absorción de Mg en nogal (Sparks, 1976a) y el uso excesivo de Zn ha estado asociado con deficiencia de Fe en éste y otros cultivos, principalmente en suelos ácidos (Sparks, 1976b). Además, si se incrementan las aplicaciones de N y K se reduce el Mg y al

fertilizar con K se incrementan: Mn, Fe, Al y Na en nogales jóvenes (Worley, 1974).

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) considera la interacción de nutrimentos, el balance nutrimental, ordena los nutrimentos de acuerdo a su requerimiento y detecta deficiencias y excesos relativos (Sumner, 1986).

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Realizar la interpretación foliar de 38 árboles de nogal pecanero con dos métodos: DRIS e Intervalo de suficiencia y 2) Relacionar el Índice de desbalance nutrimental (IDN) con el rendimiento de los árboles.

## MATERIALES Y METODOS

Se realizó un muestreo foliar a 38 árboles en producción de nogal pecanero cv Western de diferentes huertas (un árbol por huerta), utilizando 80 folíolos por árbol, seleccionándose los dos centrales de una hoja compuesta ubicada en la parte media del brote fructífero. El muestreo fue realizado entre el 15 de junio y el 31 de julio. Se analizó la concentración con base en peso seco de los siguientes nutrimentos: N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn y B. Los métodos fueron: N con el destilador microKjeldahl, P con el método colorimétrico utilizando molibdato de amonio, B por colorimetría con curcumina, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn por absorción atómica.

La interpretación foliar se realizó con dos métodos: 1) El intervalo de suficiencia de Arizona E.U.A. (Kilby y Mielke, 1982) y 2) El DRIS, utilizando como valores de referencia las normas preliminares regionales con 297 observaciones (Medina, 1987).

Los índices DRIS, el orden de requerimientos (ORN) y el IDN se calcularon con la metodología propuesta por Beaufils (1973). Un índice DRIS es el valor de cada nutrimento, si es negativo indica deficiencia y si es positivo indica suficiencia o exceso relativo; el más negativo es el más deficiente y los que siguen indican el ORN. La suma de

los índices positivos y negativos debe ser cero para que exista un balance entre los nutrimentos de la muestra analizada. El IDN es la suma de los valores absolutos de los índices de todos los nutrimentos de la muestra. Entre mayor es este valor, mayor es el desbalance y por lo tanto, se esperaría un menor rendimiento (Davee *et al.*, 1986).

El cálculo de los índices DRIS y el IDN se realizó con un programa de computadora en lenguaje basic realizado por Sánchez (1988) y que simplifica los cálculos propuestos por Sumner (1986) cuando se utilizan productos de nutrimentos (uno aumenta y otro disminuye con la edad, ejemplo: N/Ca). Se calcula la función con la ecuación correspondiente y se suma a las otras para calcular el índice de los nutrimentos donde interviene. En cambio, si los dos nutrimentos aumentan o disminuyen con la edad (ejemplo: Mg/Ca, N/P), se hace lo siguiente: si el nutrimento está en el numerador, el signo de la función es positivo y si esta en el denominador es negativo.

Los nutrimentos más deficientes se tomaron de la parte izquierda del ORN, el orden de excesos relativos se obtuvo con los tres últimos nutrimentos y se calculó el porcentaje de árboles donde estaban deficientes o en exceso. También se obtuvo el ORN en los 38 árboles de acuerdo a los índices DRIS del más negativo o deficiente al menos negativo. Con el Intervalo de suficiencia, se calculó el porcentaje de árboles en los que estaba deficiente el nutrimento de acuerdo a los valores reportados.

La producción de nuez se estimó en 15 árboles con el método desarrollado por Worley y Smith (1984), en 15 árboles se obtuvo en forma total por el productor y 8 árboles no se pudieron cosechar.

A través del IDN y el rendimiento de nuez por árbol, se calculó el porcentaje de árboles con y sin problema nutrimental y con otro tipo de problema no identificado. El IDN límite fue de 124, ya que se encontró que los árboles que tienen un valor mayor están desbalanceados nutrimentalmente y no tienen oportunidad de

obtener altos rendimientos (Medina, 1987). El rendimiento límite fue de 35 kg árbol<sup>-1</sup> entre bajos y altos rendimientos. Como se evaluaron árboles individuales, sin problema aparente de competencia o sombreado, es probable que la densidad de plantación todavía no influya mucho en la producción por árbol. Además se relacionaron las prácticas de fertilización en las huertas con los nutrimentos más deficientes en los árboles.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La interpretación foliar de los 38 árboles de nogal con el método DRIS, muestra que el orden de los cuatro nutrimentos más requeridos es diferente para cada árbol y no se ve ninguna tendencia de algún nutrimento más deficiente. Con el intervalo de suficiencia se observa lo mismo, el rendimiento y el IDN también varían. Se presentan solamente los resultados de seis árboles con los dos métodos (Cuadro 1).

No se puede generalizar que Mn, Zn, Fe y B estén deficientes en todos los árboles, ya que también pueden estar en suficiencia relativa o exceso, como se observa con el Zn y el B en los árboles 1, 3, 5 y 6. Esto parece indicar que en cada huerta existen diferencias de tipo de suelo y la fertilización varía como se demuestra en los siguientes datos: la mayoría aplica N y Zn, en algunas se aplica P y en muy pocas K y otros elementos menores, además aplican estiércol en dosis variables (Cuadro 2). Por lo tanto, para un diagnóstico integral en cada huerta, lo más adecuado es utilizar varias técnicas como muestreo completo de suelo y foliar, sintomatología, experiencia, niveles de extracción, etc.

Con el método DRIS, el ORN fue Mn=Fe>Zn=B en el 42-53% de árboles (Cuadro 3), sin embargo, los demás nutrimentos también se encuentran deficientes en el 29 y 37% de árboles. Los excesos relativos son: P, B, Zn y Cu en el 34-42% de las muestras (Cuadro 4). Los intervalos de los índices DRIS indican que el ORN del más negativo o deficiente al menos negativo, en los 38 árboles es: Mn>B>Cu>Zn

Cuadro 1. Interpretación foliar con los métodos DRIS e Intervalo de suficiencia, en árboles de nogal pecanero cv Western. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

No. árbol	Huerta	Nutrimentos											kg árbol <sup>-1</sup>	IDN	Orden de requerimientos Intervalo de suficiencia
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B				
1	El Zovako	2.7 <sup>1</sup> 1 <sup>2</sup>	.13 -2	1.3 -4	2.0 19	.37 9	133 12	36 -49	92 19	6 -9	66 -44	46	139	Mn>B>Cu>K>P>N>Mg>Fe>Ca>Zn Mg, Mn, Cu, B↓	
2	San Felipe	2.5 10	.10 -2	1.2 4	1.6 -2	.30 -13	75 -25	105 -7	17 -34	4 -18	63 -6	36	122	Zn>Fe>Cu>Mg>Mn>B>Ca>P>K>N N, Mg, Zn, Cu, B↓	
3	La Rosa	2.5 1	.14 7	1.0 -10	1.6 2	.34 1	74 -17	148 10	30 -15	6 -7	174 20	22	90	Fe>Zn>K>Cu>Mg>N>Ca>P>Mn>B Mg, Zn, Cu↓	
4	Nazareno	2.5 -6	.12 -11	1.1 -14	1.0 -12	.37 13	113 9	25 -80	28 -27	6 -13	113 1	13	186	Mn>Zn>K>Cu>Ca>P>N>B>Fe>Mg Ca, Mg, Mn, Zn, Cu↓	
5	Ponderosa	2.5 7	.10 -7	1.1 -5	1.5 -4	.39 5	103 -7	62 -26	111 38	7 6	23 -72	41	175	B>Mn>Fe>P>K>Ca>Mg>Cu>N>Zn Ca, Mg, Mn, Cu, B↓	
6	Alamito	2.1 -3	.12 1	0.8 -19	1.2 -12	.33 -3	96 -7	63 -20	47 .3	4 -24	97 2	75	92	Cu>Mn>K>Ca>Fe>Mg>N>Zn>P>B N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu↓	

1. Concentración: %; N, P, K, Ca, Mg; ppm: Fe, Mn, Zn, Cu, B.  
2. Indice nutrimental  
IDN =Indice de Desbalance Nutrimental

Cuadro 2. Fertilizantes que aplican en huertas de nogal. Región Lagunera. 1987.

Fertilizante	Huertas	
	No.	%
Nitrógeno	19	90.5
Fósforo	9	42.8
Potasio	2	9.5
Zinc	21	100.0
Otro	2	9.5
Estiércol	10	47.6

Cuadro 3. Porcentaje de árboles y orden de requerimientos con el método DRIS en nogal pecanero. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

Nutri- mento	Número de árboles				Suma	Porcentaje de árboles	
	Orden de requerimientos					Orden-1	Suma
	1	2	3	4			
N	3	2	3	3	11	7.9	29
P	3	4	4	3	14	7.9	37
K	1	3	8	2	14	2.6	37
Ca	3	2	3	6	14	7.9	37
Mg	2	7	0	4	13	5.2	34
Fe	5	4	4	7	20	13.1	53
Mn	6	9	1	4	20	15.8	53
Zn	6	4	4	2	16	15.8	42
Cu	3	1	7	3	14	7.9	37
B	6	2	4	4	16	15.8	42
Suma	38	38	38	38	152	100.0	

Orden de requerimientos: Mn=Fe>Zn=B en el 42-53% de árboles

Fe=P>N>Ca>K>Mg (Cuadro 5); coincide con el ORN por porcentaje de árboles, sin embargo, el Cu resultó en tercer lugar y coincide con el intervalo de suficiencia que lo detectó deficiente en el 100% de los árboles; según este método, los nutrimentos mas deficientes son: Cu, Zn, Mg, N, B, Ca y Mn en el 45-100% de árboles (Cuadro 6).

Ambos métodos de interpretación foliar coinciden en cuatro nutrimentos deficientes: Mn, B, Zn y Cu, pero el intervalo de suficiencia no detectó los excesos ni la deficiencia de Fe, además no cálculo el ORN porque no considera la interacción de nutrimentos.

Como el N y Zn se aplican por recomendación del campo experimental, el N no resultó deficiente, en cambio el Zn es el nutrimento mas comúnmente requerido por el nogal en suelos calcáreos (O'Barr, 1977) y para que no se presenten deficiencias se recomiendan 3 aplicaciones con 4.5 l de NZN o 5 aplicaciones con 3 l de NZN en 1000 l de agua (Anónimo, 1986); sin embargo, al variar el número de aplicaciones y las dosis (Medina, 1987), es probable que algunos árboles presenten deficiencia y otros suficiencia o exceso relativo, como se observó en los árboles 1 y 5.

Las deficiencias de Fe, Mn y B se presentan comúnmente en suelos alcalinos (Mengel y Kirkby, 1982), como los de la región y esto indica que también pueden estar deficientes en algunas huertas.

El 47% de árboles no tienen problema nutrimental aparente, porque tienen un rendimiento alto (+ de 35 kg árbol<sup>-1</sup>) y el IDN bajo (- de 124). El 10% de árboles si tiene problema nutrimental por el IDN alto (+ de

Cuadro 4. Porcentaje de árboles con exceso relativo de nutrimentos con el método DRIS en nogal pecanero. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

Nutri- mento	Número de árboles			Suma	Porcentaje de árboles		Suma
	Orden de excesos				Orden - 1	Suma	
	1	2	3				
N	2	5	2	9	5.2	24	
P	5	6	5	16	13.1	42	
K	2	4	4	10	5.2	26	
Ca	4	3	3	10	10.5	26	
Mg	5	4	4	13	13.1	34	
Fe	0	1	4	5	0.0	13	
Mn	2	2	5	9	5.2	24	
Zn	7	4	3	14	18.4	37	
Cu	3	6	4	13	7.9	34	
B	8	3	4	15	21.0	39	
Suma	38	38	38	114	100.0		

Excesos: P, B, Zn, Mg y Cu en el 34-42% de árboles

Cuadro 5. Intervalo de índices DRIS y orden de requerimientos en 38 árboles de nogal pecanero. Región Lagunera.

Nutrimento	Intervalo de índices DRIS
Mn	-80 a +23
B	-72 a +23
Cu	-56 a +33
Zn	-37 a +38
Fe	-26 a +12
P	-26 a +22
N	-24 a +23
Ca	-23 a +19
K	-19 a +18
Mg	-16 a +23

Orden de requerimientos: Mn>B>Cu>Zn>Fe=P>N>Ca>K>Mg

Cuadro 6. Árboles de nogal pecanero con nutrimentos más deficientes con 2 métodos de interpretación foliar. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

Nutrimento deficiente	DRIS		Intervalo de suficiencia	
	Arboles		Arboles	
	No.	%	No.	%
N	11	29	26	68
P	14	37	3	8
K	14	37	4	10
Ca	14	37	22	58
Mg	13	34	28	74
Fe	20	53	0	0
Mn	20	53	17	45
Zn	16	42	28	74
Cu	14	37	38	100
B	16	42	22	58
	Mn=Fe	Zn=B	Cu,Zn,Mg,N,B,Ca,Mn	
% de árboles:	42-53		45-100	

124) y rendimiento bajo (- de 35 kg árbol<sup>-1</sup>). Sin embargo, existe un 37% de árboles que tienen rendimiento bajo, no obstante su IDN bajo; porque el problema principal que reduce el rendimiento, es probable que no sea nutrimental (Davee *et al.*, 1986), (Cuadro 7).

Cuadro 7. Relación entre rendimiento e IDN en árboles de nogal pecanero. CIFAP-Región Lagunera. 1987.

Problema nutrimental	Rend. kg árbol <sup>-1</sup>	IDN	Arboles	
			No.	%
No	Alto <sup>1</sup>	Bajo	14	47
No	Alto	Alto <sup>3</sup>	2	6
Si	Bajo <sup>2</sup>	Alto	3	10
Otro	Bajo	Bajo <sup>4</sup>	11	37

1. + de 35 kg árbol<sup>-1</sup>
2. - de 35 kg árbol<sup>-1</sup>
3. + de 124
4. - de 124

### CONCLUSIONES

Según el DRIS, los cuatro nutrimentos más deficientes son: Mn=Fe>Zn=B en el 42-53% de árboles y en exceso relativo: P, B, Zn, Mg y Cu en el 34-42% de árboles. De acuerdo a los índices más negativos el ORN es: Mn>B>Cu>Zn>Fe=P>N>Ca>K>Mg.

El Intervalo de suficiencia detectó como deficientes: Cu, Zn, Mg, N, B, Ca y Mn en el 45-100% de árboles. No detectó la deficiencia de Fe ni los excesos.

Ambos métodos coinciden en cuatro nutrimentos deficientes: Mn, B, Zn y Cu.

Existe un 47% de árboles que no tienen problema nutrimental, un 10% que si tienen y un 37% donde el problema principal que reduce el rendimiento no es nutrimental.

### LITERATURA CITADA

- ANONIMO. 1986. 5o. Día del Nogalero. Publicación Especial No. 28. CAELALA-CIAN INIFAP-SARH. pp. 33.
- BEAUFILS, E.R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Soil Sci. Bull. No. 1. University of Natal, South Africa.
- DAVEE, D.E., T.L. RIGHETTI, E. FALLAHI y S. ROBBINS. 1986. An evaluation of the DRIS approach for identifying mineral limitations on yield in "Napolean" sweet cherry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(6): 988-993.
- EMMERT, F.H. 1961. The bearing of ion interactions on tissue analysis results In: Plant analysis and fertilizer problems. Walter Reuther (Ed.) Pub. No. 8. American Institute of Biological Sciences. Washington D.C. pp. 231-243.
- KILBY, M.W. y E. MIELKE. 1982. Mineral nutrition of the pecan in the irrigated southwest. Sixteenth Western Pecan Conference Procc. New Mexico State University. Coop. Ext. Serv. U.S.A.
- MEDINA M., M.D.C. 1987. Evaluación del método DRIS para el diagnóstico nutrimental del nogal pecanero (*Carya illinoensis*) cv Western, en la Comarca Lagunera. Informe de investigación del programa de fruticultura. CIFAP Región Lagunera-INIFAP. En prensa.
- MENGEL, K. y E.A. KIRKBY. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd. edition Publisher: International Potash Institute Switzerland. pp. 267-273.
- O'BARR, R.D. 1977. Nutrients: Their impact. Pecan Quarterly. Vol. 11(4): 4-10.
- O'BARR, R.D. y J.H. McBRIDGE. 1980. Pecan leaf sampling for commercial growers. Pecan South 7: 42-45.
- ROBSON, A.D. y M.G. PITMAN. 1983. Interactions between nutrients in higher plants. In: Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology. New series. Vol. 15-A Ed. por A. Lauchli and R.L. Bielecki. pp. 147.
- SANCHEZ V., L.R. 1988. El cálculo de las normas e índices DRIS, un análisis matemático. Informe de investigación de Cómputo y Estadística. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. En prensa.
- SPARKS, D. 1976. Some nutrient deficiency symptoms in pecans. The best of Pecan South. 1974-79. pp. 101-103.
- SPARKS, D. 1976a. Magnesium nutrition and the pecan. A review. The best of Pecan South. 1974-79. pp. 110-112.
- SPARKS, D. 1976b. Iron deficiency in pecans. The best of Pecan South. 1974-79 pp. 113-114.

**STOCKTON, A.** 1985. Interpreting pecan tree nutritional levels through leaf analysis. 19th Western Pecan Conference. Procc. New Mexico State University. Coop. Ext. Serv. pp. 99-100.

**SUMNER, M.E.** 1986. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) as a guide to orchard fertilization. Food and fertilizer technology center Extension Bulletin No. 231.

**UNIVERSITY OF GEORGIA E.U.A.** 1974-79. Plant testing service, The best of Pecan South.

**WORLEY, R.E.** 1974. Effect of N, P, K and lime on yield, nut quality, tree growth and leaf analysis of pecan (*Carya illinoensis* W.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99(1): 49-57.

**WORLEY, R.E. y M. SMITH.** 1984. A method of estimating pecan yield. HortScience 19(5): 664.

## LAS DOS VIAS DE ASIMILACION DEL NITROGENO EN SOYA Y OTRAS LEGUMINOSAS

The Two Phatways of Nitrogen Assimilation in Soybean and Other Legumes

Gabriel Alcántar González y Juan Luis Tirado Torres

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

*Palabras clave:* Fijación de nitrógeno, asimilación de nitrato.

*Index words:* Nitrogen fixation, Nitrate assimilation.

### RESUMEN

Se revisan y analizan resultados publicados acerca del efecto del nitrato sobre la fijación simbiótica de nitrógeno en soya y otras leguminosas. Se presentan datos consistentes con la hipótesis de competencia por poder reductor y abastecimiento de energía en las dos vías de asimilación del nitrógeno en las leguminosas. Algunos reportes recientes demuestran que también debe ser considerado el efecto inverso del proceso, es decir, en qué medida son afectadas la absorción y la asimilación del nitrato por la simbiosis, ya que, diversos investigadores han encontrado disminuciones importantes en la absorción y asimilación del N-mineral cuando las plantas están bien noduladas, en comparación con aquellas que solo se abastecen con nitrato. Finalmente se plantea la pregunta ¿deben considerarse las dos vías de asimilación del N en leguminosas, competitivas o complementarias?

Recibido 12-90.

### SUMMARY

Published results about the effect of nitrate on symbiotic nitrogen fixation by soybeans and other legumes were reviewed. Current information related to the hypothesis that competitions for reductant power and energy supply existe between the two nitrogen assimilation pathways of legumes is presented. Recent papers emphasize the effect of nodulation on nitrate assimilation. Nitrate accumulation and nitrate reductase activity were decreased in nodulated plants compared with non-nodulated plants. The relationship between nitrate assimilation and nodulation is discussed. The following question is analysed: Are the two types of nitrogen nutrition competitive or complementary?

### INTRODUCCION

Las leguminosas presentan la particularidad de satisfacer sus necesidades de nitrógeno, mediante dos vías: asimilación del nitrógeno mineral proveniente del suelo y asimilación del nitrógeno molecular de la atmósfera, cuando ellas son inoculadas con una cepa fijadora de *Rhizobium*. La fijación simbiótica contribuye con 25 a 75% del nitrógeno asimilado por la soya (Deibert *et al.* 1979).

Utilizando el marcador  $^{15}\text{N}$ , Zapata *et al.* (1987), determinaron, en soya cultivada en el campo, que 55% del nitrógeno contenido en los granos y las vainas provienen del nitrógeno atmosférico y el resto de la solución del suelo. Esta doble posibilidad debería conferir a las leguminosas una superioridad sobre las otras plantas, si las dos vías fueran siempre complementarias, sin embargo, Thibodeau y Jaworski (1975) estiman que existe una competencia entre la fijación simbiótica de nitrógeno y la asimilación del nitrato, a todo lo largo de la vida de la planta de soya. La nitrato reductasa es sobre todo activa durante la fase vegetativa del desarrollo y la fijación de nitrógeno es la principal fuente de ese elemento durante la floración y la formación de vainas, no obstante, a la mitad del llenado de grano, la fijación de nitrógeno disminuye, debido probablemente a un desvío de fotosintatos para la formación de granos, en detrimento del aparato vegetativo, así como del aprovisionamiento de los nódulos (Calmes *et al.*, 1987). En seguida, se presenta una hidrólisis de las proteínas foliares y comienza la senescencia de las hojas (Calmes *et al.*, 1983). El abastecimiento en nitrógeno para las vainas, se haría entonces por removilización de las reservas protéicas de los órganos vegetativos (Warembourg y Fernández, 1985; Calmes *et al.*, 1987).

Si pequeñas dosis de nitrato en el suelo favorecen el crecimiento de las plantas, aun de las inoculadas, sobre todo en los primeros estadios de crecimiento vegetativo, más allá de un límite (1 a 3 mM en experiencias en hidroponia), se pone de manifiesto una competencia entre la nutrición nítrica y la nutrición a partir de  $\text{N}_2$ . En esta competencia, el nitrato resulta prioritario e inhibe la simbiosis (Bouniols *et al.*, 1986). En consecuencia, la presencia en el suelo de residuos nitrogenados reduce o suprime la capacidad de fijación del nitrógeno de las leguminosas en simbiosis (Puech y Bouniols, 1986).

Uno de los aspectos que sería útil mejorar en el cultivo de soya, es la permanencia de una activa fijación simbiótica de  $\text{N}_2$

atmosférico durante toda la vida del cultivo, aún en presencia del nitrato. El mejoramiento por selección, sea del *Rhizobium*, sea de la soya, implica un conocimiento profundo del mecanismo de interacción entre el nitrato y la simbiosis.

#### Efecto del nitrógeno sobre la simbiosis.

El nitrato afecta al mismo tiempo el proceso de infección, el desarrollo de los nódulos, la expresión de la nitrogenasa y activa los procesos de envejecimiento de la simbiosis (Gibson y Jordan, 1983).

Luego del descubrimiento de la acción inhibitoria del nitrógeno combinado sobre la formación de nódulos en *Vicia faba* (Rauternberg y Kuhn, 1864), numerosos trabajos se han realizado con diversas leguminosas, teniendo como objeto explicar el complejo mecanismo de acción. Aplicado antes de la inoculación, el nitrato inhibe el reconocimiento de soya por el *Rhizobium* y el buen establecimiento de los nódulos. La inhibición depende más de la concentración de nitrato en la solución que de la cantidad de nitrato absorbido por la planta (Gibson y Harper, 1985). El nitrato afecta la secreción de trifoleína por las raíces de trébol, lo cual explica la disminución en la capacidad de reconocimiento de los pelos absorbentes por las bacterias (Dazzo y Brill, 1978; Dazzo y Hubell, 1982). Adicionado a los cultivos bien desarrollados y de intensa actividad fijadora, el nitrato detiene el crecimiento de los nódulos y la nitrogenasa deja de funcionar (Champigny *et al.*, 1985). Este efecto posterior a la inoculación es endógeno y es consecuencia de la absorción y/o del metabolismo del nitrato. En seguida, se pueden distinguir las acciones inhibitorias "directas" que actúan sobre la nitrogenasa, afectando la enzima o las condiciones intracelulares de la expresión de su actividad y las acciones inhibitorias "indirectas" que son consecuencia de modificaciones del metabolismo de la planta, ligadas a los procesos de asimilación del nitrato.

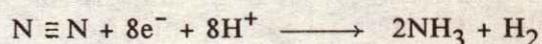
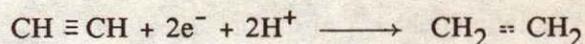
En primer lugar, la acción "directa" puede ser debida al efecto del nitrato, por modificación (aumento) del pH celular, al momento de su reducción (Kirkby y Knight, 1977). En segundo lugar, la presencia del nitrato en la solución nutritiva induce las nitrato reductasas "citosólica" y "bacteriana". Se ha observado que esta última, más activa que la nitrito reductasa, provocaría una acumulación de nitritos en los nódulos (Rigaud, 1976). Más recientemente Stephens y Neyra (1983), observaron la inhibición de la nitrogenasa por tratamientos con  $\text{KNO}_3$  20 mM en nódulos de soya separados y en bacteroides aislados, lo cual confirma la existencia de un efecto del nitrato independientemente de la planta hospedera, por lo tanto "directo". Finalmente, los efectos negativos sobre la leghemoglobina de los nódulos por la presencia de  $\text{NO}_2^-$ , fueron puestos en evidencia por Rigaud y Puppo (1977).

En cuanto a la acción "indirecta" del nitrato, Small y Leonard (1969) demostraron que el carbono asimilado por vía fotosintética, es exportado en menor cantidad hacia los órganos subterráneos cuando algunas leguminosas son tratadas con el nitrato. Si consideramos que la nitrato reductasa foliar es inducida por el nitrato, entonces las necesidades de energía y cadenas carbonadas para la reducción del nitrato harían a las hojas prioritarias en la competencia por fotosintatos. Esta hipótesis se ha confirmado por el hecho que la inhibición de la fijación de  $\text{N}_2$ , es parcialmente eliminada por la adición de azúcares en los nódulos (Manhart y Wong, 1980). El tratamiento con nitrato disminuye además el flujo hacia el xilema de los aminoácidos y ureidos sintetizados en los nódulos, afectando así el transporte de nitrógeno reducido de los nódulos hacia la parte aérea (Streeter, 1985).

El mecanismo de la inhibición de la fijación simbiótica por el nitrato es un proceso verdaderamente complejo y aunque se han postulado varias hipótesis bien argumentadas, ninguna de ellas es enteramente satisfactoria.

#### Disponibilidad de energía y acumulación de nitratos.

En este conjunto de interacciones metabólicas planta-bacteria, la nitrogenasa tiene el rol principal, pues ella es la responsable directa de la reducción del nitrógeno atmosférico. Esta enzima es capaz de reducir numerosos sustratos, los cuales, a excepción de los protones, están caracterizados por un triple enlace. Cuando la presión parcial de  $\text{C}_2\text{H}_2$  es igual a 0.1 atm. (10% v/v), todas las otras reducciones catalizadas por la nitrogenasa son inhibidas incluida la de los protones (Drevon y Salsac, 1984). Bajo este principio la actividad nitrogenasa puede ser estimada como Actividad de Reducción del Acetileno (ARA), considerando que 1 mol de  $\text{N}_2$  reducido es equivalente, en teoría, a aproximadamente 4 moles de acetileno reducido, conforme a las reacciones:



La actividad nitrogenasa puede ser afectada por múltiples factores. En condiciones de campo, la fijación de  $\text{N}_2$  puede ser limitada por factores pedoclimáticos, sin embargo, cuando éstos son bien controlados, la energía aportada por la planta a los nódulos sería la principal limitante de la cantidad de nitrógeno fijado (Hardy y Havelka, 1975). El desarrollo y mantenimiento de los nódulos por una parte, sus reacciones fisiológicas ligadas a la reducción de  $\text{N}_2$  por otra parte, exigen una fracción importante del  $\text{CO}_2$  fijado por la fotosíntesis de la planta.

Los mecanismos por los cuales la fijación de  $\text{N}_2$  es inhibida por el nitrato, no son al momento actual bien comprendidos. La inhibición de la nitrogenasa se explica frecuentemente como resultado de una disminución de la cantidad de azúcares que llegan a los nódulos (Gibson, 1976) o por una inhibición directa, originada por los nitritos

formados en la reducción del nitrato (Rigaud, 1976).

Para el caso de la soya y algunos tréboles, la fijación de  $N_2$  puede ser totalmente inhibida luego de 5 días de tratamiento con el nitrato y la proporción de fotosintatos marcados con  $^{14}C$  en los nódulos, sensiblemente reducida (Small y Leonard, 1969). Sin embargo, la disminución de fotosintatos que llegan a los nódulos, puede ser también una consecuencia de la menor demanda resultante de la inhibición de la nitrogenasa (Wasfi y Prioul, 1986). Midiendo la cantidad de azúcares en los nódulos de soya luego de un aporte de nitratos, Streeter (1981) sugirió recientemente la existencia de ese efecto. Una inhibición del 80% en la actividad nitrogenasa fue asociada con menos de 10% de disminución de la cantidad de azúcares en los nódulos, pero esos efectos fueron observados varios días después del aporte del nitrato.

Al adicionar  $NO_3^-$  al medio de cultivo, las nitrato reductasas citosólica y bacteriana sintetizan nitrito, el cual es un eficaz inhibidor de la nitrogenasa purificada (Trinchant y Rigaud 1980) o de la nitrogenasa en bacteroides intactos (Kennedy *et al.*, 1975) o la de nódulos intactos (Stephens y Neyra, 1983).

La acumulación de nitritos luego de la aplicación de nitratos fue confirmada en los nódulos de frijol (Rigaud, 1976). No obstante, en las mutantes que no poseen una nitrato reductasa inductible (*Rhizobium*  $NR^-$ ), la cantidad de nitrito, acumulada en los nódulos es mucho menor, pero esto no impide la inhibición de la fijación de  $N_2$  (Manhart y Wong, 1980). Es probable que la cantidad de nitrito formada por la nitrato reductasa del citosol, la cual no es afectada por la mutación, sea suficiente para inhibir la nitrogenasa (Streeter, 1982; Stephens y Neyra, 1983).

Recientemente Wasfi y Prioul (1986) observaron en soya, un aumento de la cantidad de azúcares en los nódulos y de la movilización de fotosintatos hacia esos

órganos, entre 6 y 24 horas después del aporte de nitratos ( $7 \text{ meq. l}^{-1}$ ). La caída de la actividad nitrogenasa fue notable en ese mismo período. Ellos midieron una importante actividad nitrato reductasa en los nódulos, así como una acumulación de nitritos, la cual explican por una insuficiente actividad nitrato reductasa. Con base en esos resultados, sugieren que entre las dos hipótesis clásicas para explicar la inhibición de la simbiosis por el nitrato, la que postula la acumulación de nitritos parece más lógica.

Finalmente, la aplicación durante períodos variables, de diferente dosis de nitrato (0.5 a 5 meq) a plantas de soya inoculadas por *R. japonicum*  $NR^+$  (con nitrato reductasa inductible) o *R. japonicum*  $NR^-$  (sin nitrato reductasa inductible) ha permitido distinguir la inhibición de la nitrogenasa a "corto plazo" (rápida), ligada a la presencia de la nitrato reductasa bacteriana inductible y la inhibición a "largo plazo" (lenta) de la nitrogenasa, independientemente de la nitrato reductasa de los bacteroides (Champigny *et al.*, 1985). Anteriormente Stephens y Neyra (1983), habían demostrado que la inhibición de la fijación de  $N_2$  atmosférico solamente se manifiesta si el *R. japonicum* posee una nitrato reductasa inductible. Esta inhibición tampoco se presenta con los bacteroides de *R. phaseoli* que no tienen actividad nitrato reductasa (Timpo y Neyra, 1983).

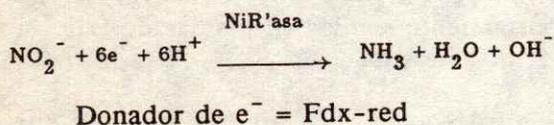
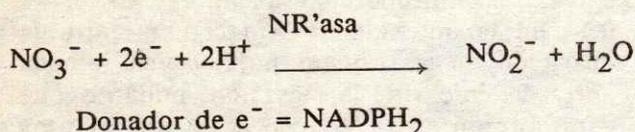
La fijación de nitrógeno atmosférico, como la transformación del nitrato en amonio, son procesos claramente reductivos y por lo tanto altamente consumidores de energía en forma de ATP. La gran demanda de energía en los nódulos, en el caso de la fijación, es debida al costo de la reducción de  $N_2$ , la formación y mantenimiento de estos órganos y la síntesis de esqueletos carbonados para el transporte del nitrógeno fijado principalmente (Figura 1 y Cuadro 1).

Cuadro 1. Consumo teórico de carbón por la fijación simbiótica de nitrógeno (Atkins *et al.*, 1978)

Proceso	<i>Vigna unguiculata</i> moles de CO <sub>2</sub> .mol <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	<i>Lupinus albus</i>
Reducción de N <sub>2</sub> en NH <sub>3</sub>	1.75	1.75
Incorporación del NH <sub>3</sub>	0.52	0.58
Formación de nódulos	0.06	0.06
Mantenimiento de los nódulos	0.05	0.06

A nivel bioquímico, son necesarios 2 ATP por cada electrón transferido por la nitrogenasa. Para la reducción del nitrógeno se requieren 6 electrones, o sea un costo de 12 ATP, además tres NADPH son oxidados en el proceso, lo que equivale en términos energéticos a 12 ATP suplementarios (Salsac *et al.*, 1984).

Por otro lado, la reducción del nitrato se realiza en dos etapas, la primera de ellas, catalizada por la nitrato reductasa, necesita la oxidación de un NADPH<sub>2</sub> (3ATP) y en la segunda, con la participación de la nitrito reductasa, son necesarias 6 moléculas de ferredoxina reducida (12 ATP), conforme a las reacciones (Salsac *et al.*, 1987).



Cuando una planta leguminosa se abastece de nitrógeno utilizando las dos vías de nutrición, sería lógico esperar, conforme a lo anteriormente expuesto, una desviación del ATP y del poder reductor hacia la nitrato reductasa, la cual iría en detrimento de la actividad nitrogenasa.

Resultados recientes de Alcántar *et al.* (1988) muestran, en forma objetiva, como el aporte de nitratos a plantas de soya de 40 días induce la actividad nitrato reductasa de los bacteroides y al mismo tiempo origina una caída de más de 50% de la actividad nitrogenasa (ARA) en los nódulos infectados con *R. japonicum* NR<sup>+</sup>. Junto con la disminución de ARA, se reporta un decremento transitorio de la cantidad de energía disponible en los nódulos, estimada como carga energética (CE), que coincidió con la fase inicial de inducción de la nitrato reductasa bacteriana (Figura 2).

Las mediciones de CE, ARA y NR en los nódulos infectados con *R. japonicum* NR<sup>-</sup> (mutante sin NR inductible), no presentaron variaciones considerables (Figura 2) y su comportamiento fue muy similar al del testigo sin nitratos (resultados no presentados). La ARA no mostró variación durante las primeras 24 h de tratamiento y fue sólo 48 h después que la ARA resultó ser afectada por los nitratos.

Vale la pena insistir que en ese trabajo las mediciones de CE son una estimación media a nivel de los nódulos y no tienen en cuenta la compartimentación de los nucleótidos adenilicos, ni entre los bacteroides y el tejido vegetal, ni a la escala intracelular.

Una posible interpretación a estos resultados, sería que la inducción de la nitrato reductasa (NR) bacteriana y de las

reacciones metabólicas que esto implica, serían procesos consumidores de energía, lo cual significaría un incrementado consumo de ATP y la consiguiente disminución de la carga energética. La falta de energía disponible, podría ser una de las causas de disminución de la ARA.

La hipótesis de la acumulación de  $\text{NO}_2^-$  en los nódulos como consecuencia de la reducción del nitrato y su participación como factor de inhibición de la nitrogenasa, es hoy en día válida, pero es probable que éste no sea el único mecanismo responsable. Por otra parte, la hipótesis de la competencia por energía entre la nitrato reductasa y la nitrogenasa es posible; sin embargo, aún queda por aclarar si la inhibición de la nitrogenasa es originada por la reacción misma de la nitrato reductasa o por los productos formados en ella.

#### Influencia de la nodulación sobre la asimilación de $\text{NO}_3^-$ .

El efecto depresivo del nitrato sobre la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico en las leguminosas bien noduladas, ha sido ampliamente ratificado, sin embargo es indiscutible que a bajas dosis de nitrato puede observarse un efecto benéfico sobre la fijación de  $\text{N}_2$ , sobre todo cuando la aplicación del N-mineral se realiza antes de que el sistema simbiótico funcione eficientemente. El efecto benéfico del nitrato, a bajas dosis, sobre la simbiosis se explicaría por un mejor estado fisiológico de la planta, debido a una estimulación de la fotosíntesis (Bethlenfalvay *et al.*, 1978; Jatimliansky *et al.*, 1982), particularmente al inicio del ciclo de desarrollo de la planta, cuando el nitrógeno cotiledonar se agota y la fijación de  $\text{N}_2$  es apenas incipiente o inexistente (Larry *et al.*, 1981).

En general, las referencias bibliográficas indican que se ha dado especial atención al estudio del efecto del N-mineral sobre la simbiosis, sin embargo, no se dispone en la práctica de ninguna información acerca de la influencia de la nodulación, sobre la

capacidad de asimilación del nitrato por el vegetal (Tirado, 1987), no obstante que durante el transcurso del ciclo vegetativo, las dos vías de nutrición nitrogenada, juegan papeles que se pueden considerar complementarios (Salsac *et al.*, 1984).

A este respecto, Conejero *et al.* (1986) observaron que la actividad nitrato reductasa en hojas de soya, que recibían la misma cantidad de nitrato, era netamente más baja en plantas noduladas, particularmente, en la primera fase del ciclo de desarrollo de nódulos. El mismo efecto es observado para el contenido en nitrato en las hojas (Figura 3).

Un análisis sobre el crecimiento de los diferentes órganos de la planta durante este período de establecimiento de los nódulos, mostró que, las plantas no noduladas acumulan más materia seca en la parte aérea que las plantas noduladas que no recibieron N-mineral, del orden de 35% más en hojas y 73% más en tallos. Durante el mismo período, el crecimiento en materia seca de las raíces es más importante en plantas noduladas que en plantas que reciben exclusivamente nitrógeno mineral (Figura 4).

Las modificaciones del crecimiento radical se traducen en la evolución de la relación entre peso seco de raíces y aquel de la parte aérea. Esta proporción disminuye de 0.4 a 0.14 en la ausencia de *Rhizobium*, entre la aparición de la primera hoja y una semana antes del inicio de la floración, mientras que esta aumenta de 0.4 a 0.53 en plantas noduladas durante el mismo período (Figura 5). Chaillou *et al.* (1986) observaron un comportamiento similar en plantas de frijol a los 45 días de edad.

El nitrógeno mineral tendría entonces por efecto favorecer el crecimiento de la parte aérea. Inversamente, una deficiencia en nitrógeno disminuye más el crecimiento de la parte aérea que aquel de las raíces. Ha sido indicado, que una deficiencia en nitrógeno provoca una disminución mayor del crecimiento de la parte aérea que el de raíces, las cuales presentan pelos absorbentes más largos que las

plantas cultivadas con un considerable aporte de nitratos (Foeshe y Jungk, 1983; Heins y Schenk, 1986). Por otro lado Dart *et al.* (1977) demostraron que un aumento en la concentración de nitrato en el medio de cultivo, reduce progresivamente la elongación de las raíces y la formación de pelos absorbentes en *Medicago*.

Si como ciertos autores lo han demostrado, el flujo de nitrato hacia la parte aérea controla la actividad NR (Shaner y Boyer, 1976; Talouizte *et al.*, 1984; Soulami-Boujema *et al.*, 1985) esto significa que la nodulación afecta la absorción y/o el transporte de nitrato, de tal manera que la actividad NR y el contenido en nitratos son más bajos en plantas noduladas que en plantas no noduladas (Tirado, 1987). Por otro lado, el crecimiento de las raíces durante el período de nodulación es relativamente más bajo en plantas no noduladas que en plantas noduladas. Se puede entonces suponer, que durante este período de abastecimiento de nódulos, los fotosintatos son desviados hacia la parte radicular, lo cual trae como consecuencia un efecto positivo sobre la acumulación de materia seca de las raíces y de los nódulos, pero que puede limitar la capacidad de absorción del nitrato, como fué demostrado por Wych y Rains (1978), al modificar la estructura del sistema radicular y por consecuencia el flujo de nitratos que dirige la síntesis y el funcionamiento de la nitrato reductasa (NR).

Si bien es cierto que el nitrato limita la nodulación y la fijación del nitrógeno, la nodulación puede también limitar la asimilación del nitrato en las hojas.

Esta observación, plantea el problema de una competencia por fotosintatos entre la reducción de nitrato en las hojas y la fijación del nitrógeno del aire en los nódulos. La nodulación tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de las raíces en detrimento del crecimiento de la parte aérea, que puede limitar la capacidad de absorción de nitrato (Shaner y Boyer, 1976; Soulami-Boujema *et al.*, 1985).

## CONCLUSION

Al término de este análisis, el planteamiento lógico sería ¿se deben considerar las dos vías de asimilación del nitrógeno en leguminosas, como competitivas o como complementarias?, la respuesta parece no ser la misma en todos los casos, ya que, dependerá de factores tanto externos como de otros inherentes a la simbiosis misma, sin embargo resulta evidente que para lograr la complementariedad de esas dos vías de asimilación a nivel económico y fisiológico, se deberán buscar las condiciones óptimas que permitan en cada caso, el máximo rendimiento como el mínimo de N-mineral aplicado, para utilizar al máximo el nitrógeno "gratuito" que nos ofrece la naturaleza en las asociaciones *Rhizobium*-leguminosas.

## LITERATURA CITADA

- ALCANTAR G., G., M. MIGINIAC-MASLOW, M.L. CHAMPIGNY et A. MOYSE. 1988. Effect of nitrate supply on energy balance and acetylene reduction and nitrate reductase activities of soybean root nodules infected with *Bradyrhizobium japonicum*. C.R. Acad. Sc. de Paris. Ser. III, 307 (3). 145-1
- ATKINS C.A., D.F. HERRIGDE and J.S. PATE. 1978. The economy of carbon and nitrogen in nitrogen-fixing annual legumes. In: Isotopes in Biological Dinitrogen Fixation IAEA; 211-240.
- BETHLENFALVAY G.S., S.S. ABUSMAKRA y D.A. PHYLLIPS. 1978. Interdependance of nitrogen fixation and photosynthesis in *Pisum sativum* L. I. Effects of combined nitrogen on symbiotic nitrogen fixation and photosynthesis. Plant Physiol. 62: 127-130.

- BOUNIOLS A., J.C. CLEYENT-MAREL, Y. CROZAT, J.J. DREVON, M.O HECKMAN, J. ABATON, L. SALSAC, B. LAGACHERIE, G. CONEJERO, O. ROBIN, J. WERY et F. WARENBOURG.** 1986. Nutrition azotée du soya: les 2 voies de l'assimilation de l'azote. In: Le soja; physiologie de la plante et adaptation aux conditions francaises. Ed. CETIOM-INRA, 38-46.
- CALMES J., GELFIN., G. VIDAL, G. GAVALIE y T. BLANCHET.** 1987. Photosynthese et élaboration des réserves des graines chez divers types de Soja a croissance indéterminée. *Agronomie* 7 (1): 33-40.
- CALMES J., M. NAYDT et G. VIALA.** 1983. Protéogenèse des graines de soja (*Glicine max* (L.) Merr): Origine des acides aminés. *Agronomie*. 3, 273-278.
- CONEJERO G., J.L TIRADO T., y P. ROBIN.** 1986. Effect of nodulation on nitrate assimilation in vegetative soybean plants. *Plant and Soil* 91, 385-389.
- CHAILLOU S., J.F. MORO-GAUDRY, C. LESAIN, SALSAC y E. JOLIVET.** 1986. Compared effects of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  on growth and metabolism of french bean. *Physiol. Veg.* 24, 679-687.
- CHAMPIGNY M.L., LE VAN QUY et A. MOYSE.** 1985. Analyse de l'action du nitrate sur la symbiose Soja et *Rhizobium japonicum* pourvu ou non de nitrate réductase inductible. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 300 Serie III, No. 1, 19-24.
- DART P.J., P.A. HUXBEY, A.R. EAGLESHAM, F.K. MINCHIN, R.J. SUMMERFIELD y J.M. DAY.** 1977. Nitrogen nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). II. Effects of inorganic nitrogen on growth and yield of nodulated and non nodulated plants. *Expl. Agric.*, 13, 241-252.
- DAZZO F.B. and W.J. BRILL.** 1978. Regulation by fixed nitrogen of host-symbiont recognition in the *Rhizobium* clover symbiosis. *Plant Physiol.* 62, 18-21.
- DAZZO F.B. and D.H. HUBELL.** 1982. Control of root hair infection. In: W.J. Broughton (ed) Nitrogen Fixation, *Rhizobium* Vol. 2, Clarendon Press, Oxford, 274-310.
- DEIBERT E.J., M. BIJERIEGO and R.A. OLSON.** 1979. Utilization of  $^{15}\text{N}$  fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. *Agron. J.* 71, 717-723.
- DREVON J.J. et L. SALSAC.** 1984. Relations entre le métabolisme de l'hydrogène et la fixation d'azote par les nodosités de légumineuses. *Physiol. Veg.*, 22(2): 263-275.
- FOESHE D. y A. JUNGK.** 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. *Plant and Soil.* 74, 359-368.
- GIBSON A.H.** 1976. Recovery and compensation by nodulated legumes to environmental stress. In: Symbiotic nitrogen fixation in plants. P.S. Nutman (ed), pp. 385-403. Cambridge University Press.
- GIBSON A.H. and D.C. JORDAN.** 1983. Ecophysiology of nitrogen fixing systems. p. 301-390. In: O.L. Llange et al. (ed) *Physiological Plant Ecology III. Responses to the chemical and biological environment.* Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 12C, Springer-Verlag, New York.
- GIBSON A.H. and J.E. HARPER.** 1985. Nitrate effect on nodulation of soybean by *Bradyrhizobium japonicum*, *Crop Science*. 25, 498-501.
- HARDY R.W.F. and V.D. HAVELKA.** 1975. Nitrogen fixation research, a key to world food. *Science*. 188, 633-643.
- HEINS B. y M. SCHENK.** 1986. Nitrate uptake characteristics as affected by nitrate supply. In: *Developments in plant and soil sciences: Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants.* Eds. H.L. Lambers, J.J. Neetensen y I. Steulen: Martinus Nijhoff Publishers 41-45.

- JATIMLIANSKY J.R., M.L. CHAMPIGNY, J.L. PRIOUL, E. BISMTH y A. MOYSE. 1982. Influence du nitrate sur la croissance et la photosynthèse nette du soya pourvu ou non de nodosités. *Physiol Veg.* 20, 407-422.
- KENNEDY I.R., J. RIGAUD and J.C. TRINCHANT. 1975. Nitrate reductase from bacteroides of *Rhizobium japonicum*: enzyme characteristics and possible interaction with  $N_2$  fixation. *Biochim. Biophys. Acta*, 397: 24-35.
- KIRKBY E.A. and A.H. KNIGHT. 1977. Influence of level of nitrate nutrition on ion uptake assimilation, organic acid accumulation and cation-anion balance in tomato plants. *Plant Physiol.* 60; 349-353.
- LARRY E.W., T.M. DEJORN y D.A. PHYLLIPS. 1981. Carbon and nitrogen metabolism of soybean seedling development. *Plant Physiol.* 68, 1206-1209.
- MANHART, J.R. and P.P. WONG. 1980. Nitrate effect on nitrogen fixation: activities of legume root nodules induced by rhizobia with varied nitrate reductase activities. *Plant Physiol.* 65, 502-505.
- PUECH J. et A. BOUNIOLS. 1986. Besoins en eau et en azote du soya: importance des phases sensibles. In: *Le soya, physiologie de la plante et adaptation aux conditions francaises.* Ed. CETIOM-INRA, 33-37.
- RAUTENBERG F. and G. KUHN. 1864. Variationsversuche in Sommer 1963 *Landw.* 12, 107-140.
- RIGAUD J. 1976. Effect des nitrates sur la fixation d'azote par les nodules d'haricot (*Phaseolus vulgaris L.*). *Physiol Veg.* 14, 297-308.
- RIGAUD J. and A. PUPPO. 1977. Effect of nitrate upon leghemoglobin and interactions with  $N_2$  fixation. *Biochim. Biophys. Acta.* 497, 702-706.
- SALSACL., J.J. DREVON, M. ZENGBE, J.C. CLEYENT-MAREL and OBATON. 1984. Energy requirement for nitrogen fixation. *Physiol Veg.* 22. 509-521.
- SALSAC L., S. CHAILLOU, J.F. MOROT-GAUDRY, C. LESAIN and E. JOLIVET. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in Plants. *Plant Physiol. and Biochem.* 25(6), 805-812.
- SHANER D.I. y J.S. BOYER. 1976. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays L.*) leaves. *Plant Physiol.* 58, 499-504.
- SMALL J.D. and D.A. LEONARD. 1969. Translocation of  $^{14}C$  labelled photosynthate in nodulated legumes as influenced by nitrate-nitrogen. *Amer. J. Bot.* 56, 187-194.
- SOUALAMI-BOUJEMAAK., A. MOYSE y M.L. CHAMPIGNY. 1985. Modulation of nitrate reductase in wheat shoot and roots by nitrate. *Physiol Veg.* 23(5), 869-875.
- STEPHENS B.D. and 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. Effect of nitrate in the rooting medium on carbohydrate composition in soybean nodules. *Plant Physiol.* 68, 840-844.
- STREETER J.G. 1982. Synthesis and accumulation of nitrite in soybean nodules supplied with nitrate. *Plant Physiol.* 69, 1429-1434.
- STREETER J.G. 1985. Nitrate inhibition of legume nodule growth and activity. I. Long term studies with a continuous supply of nitrate. *Plant Physiol.* 77, 321-324.
- TALOUIZTE A., G. GUIRAUD, A. MOYSE, C. MORAL and M.L. CHAMPIGNY. 1984. Effect of previous nitrate deprivation on  $^{15}N$ -nitrate absorption and assimilation by seedlings. *J. Plant Physiol.* 116, 113-122.

**THIBODEAU P.S. and E.G. JAWORSKY.** 1975. Patterns of nitrogen fertilization in the soybean. *Plant.* 127, 133-147.

**TIMPO E.E. and C. NEYRA.** 1983. Expression of nitrate and nitrite reductase activities under various forms of nitrogen nutrition in *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiol.* 72, 71-75.

**TIRADO T., J.L.** 1987. Contribution a l'étude des activités glutamine synthetase et glutamate deshydrogenase comme marqueurs du métabolisme azoté chez la feuille de soja. Tesis doctoral. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Francia 205

**TIRADO T., J.L. y ALCANTAR G., G.** 1989. Dinámica del nitrógeno en plantas de soya. *Terra* 7(2) 133-142.

**TIRADO T., J.L., G. CONEJERO y G. ALCANTAR G.** 1990. Efecto del nitrógeno mineral y el déficit hídrico sobre las dos vías de asimilación del nitrógeno en plantas de soya. *Terra* 8(2): 182-192.

**TRINCHANT J.C. and J. RIGAUD.** 1980. Nitrite inhibition of nitrogenase from soybean bacteroids. *Arch Microbiol.* 124: 49-54.

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

**WAREMBOURG F.R. y M.P. FERNANDEZ.** 1985. Distribution and remobilization of symbiotically fixed nitrogen in soybean (*Glycine max*). *Physiol Plantarum.* 65, 281-286.

**WYCH R. A. y D.U. RAINS.** 1978. Nitrate absorption and acetylene reduction by soybean. *Plant Physiol.* 62, 443-448.

**ZAPATA F., S.K.A. DANSO, G. HARDARSON and J. FRIED.** 1987. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 79, 172-176.

## DESARROLLO DE NORMAS DRIS PARA NOGAL PECANERO EN LA COMARCA LAGUNERA

Development of DRIS Norms for Pecan Trees in the Comarca Lagunera

Ma. del Consuelo Medina M.

CIFAP-Región Lagunera-INIFAP, Apartado Postal 247,  
27000 Torreón, Coahuila

*Palabras clave:* *Carya illinoensis*, DRIS, Nutrición, Balance nutrimental.

*Index words:* *Carya illinoensis*, DRIS, Nutrition, Nutrimental balance.

### RESUMEN

Una de las herramientas más importantes en el diagnóstico nutrimental es el análisis vegetal y como una alternativa en su interpretación se presenta el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS). Se desarrollaron normas para nogal pecanero, cv Western a nivel regional, con 297 observaciones de análisis foliar y rendimiento. Estas normas constituyen la media y el coeficiente de variación de una población de altos rendimientos y son los valores de referencia que van a servir para calcular los índices DRIS de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B; el orden de requerimientos y el Índice de Desbalance Nutrimental (IDN) de una muestra foliar. Las normas DRIS se probaron con dos experimentos donde hubo respuesta en rendimiento y en la concentración y el DRIS predijo el comportamiento de los

resultados. Por lo tanto, con estas normas se pueden realizar diagnósticos nutrimentales en huertas de la región. Los árboles que tienen un IDN mayor de 124, no tienen oportunidad de obtener altos rendimientos.

### SUMMARY

One of the most important techniques in nutritional diagnosis is plant tissue analysis. The system DRIS is presented as an alternative. It was utilized at the regional level to develop DRIS norms for pecan trees, cv Western, using 297 foliar analyses and yield observations. These norms are the mean and the coefficient of variation of a high yielding population, and they are the reference values that will be used to calculate the DRIS indices of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B, the order of requirements, and the Nutrimental Imbalance Index (NII) for a given foliar sample. The DRIS norms were tested in two experiments where there were responses in yield and nutrient in the concentrations; the DRIS norms predicted the results obtained in the field. Using these norms, it is possible to make a nutrimental diagnosis of the pecan orchards of this region. The pecan trees that have a NII value greater than 124 have no possibility of attaining high yields.

## INTRODUCCION

El método tradicional para establecer valores de referencia estándar para la concentración de nutrimentos, es el valor crítico, el cual ha sido definido como la concentración de un nutrimento en una parte específica de la planta, en un estado específico de crecimiento, en el cual ocurre un 5-10% de reducción en el rendimiento (Ulrich y Hills, 1973; citados por Elwali y Gascho, 1984). Dow y Roberts (1982), opinan que más que una concentración crítica existe un intervalo de suficiencia relacionando un cierto crecimiento del cultivo. Este método tiene las siguientes desventajas: (a) no considera la interacción de nutrimentos ni el balance nutrimental (Sumner y Boswell, 1981); (b) los niveles críticos son definidos para una etapa de muestreo determinada (Beaufils, 1973); (c) como se obtienen mediante una curva de respuesta a un factor del crecimiento, una sola ecuación no es válida para todas las demás condiciones del cultivo, por ejemplo, la concentración de los valores críticos puede variar con el nivel de humedad en el suelo (Mengel y Kirkby, 1982).

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación, desarrollado por Beaufils (1973), representa una aproximación integral para la nutrición mineral de los cultivos y consta de un conjunto de normas que hacen un diagnóstico más completo, ya que clasifica en orden de importancia los nutrimentos que requiere la planta, toma en cuenta su interacción, el balance nutrimental y detecta excesos relativos, además puede realizar diagnósticos en cualquier etapa de desarrollo y diferente posición de la hoja (Sumner, 1986).

Para desarrollar las normas DRIS de una región, se utiliza una muestra representativa de un gran número de sitios al azar, que pueden ser campos comerciales y/o parcelas experimentales bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. Se toman muestras de hojas para su análisis y el rendimiento (Sumner, 1986). Las normas basadas en un banco de datos grande, son probablemente más

representativas, ya que abarcan un amplio espectro de variabilidad en la población (Letzsch, 1984). Por lo tanto, es necesario un gran número de observaciones (varios miles), con al menos un 10% de alto rendimiento (Letzsch y Sumner, 1984). Algunos ejemplos son los siguientes: maíz 10,000 (Elwali *et al.*, 1985); naranjo 3,161 (Beverly *et al.*, 1984); árbol del hule 2,020 (Beaufils, 1971); caña de azúcar 1,600 (Elwali y Gascho, 1984); soya 1,245 (Sumner, 1977a); trigo 1,108 (Sumner, 1977); también se han utilizado menos de 1,000: cerezo dulce 475 (Davee *et al.*, 1986); papa 745 (Meldal-Johnsen y Sumner, 1980); aguacate 175 (Núñez, 1987).

Las normas DRIS son relaciones de nutrimentos y constituyen la media de una población de altos rendimientos con los cuales se calculan los índices DRIS, el orden de requerimientos y el IDN de una muestra foliar (Walworth y Sumner, 1987). En cerezo dulce se encontró que árboles con IDN alto no tienen oportunidad de obtener altos rendimientos (Davee *et al.*, 1986).

Como no existen evidencias de la capacidad de diagnóstico del DRIS en nogal pecanero, es necesario primero, desarrollar las normas a nivel regional para realizar diagnósticos nutrimentales con este método y compararlo con el intervalo de suficiencia. Los objetivos de este trabajo son: (a) desarrollar normas DRIS para nogal pecanero en la Comarca Lagunera; (b) probar su capacidad para realizar diagnósticos nutrimentales y (c) conocer la relación entre el rendimiento y el IDN.

## MATERIALES Y METODOS

Se muestrearon 36 huertas de la región, con 9 árboles del cv Western por huerta; haciendo un total de 297 árboles con edades de 10 a 20 años y su ubicación fue de 1 a 2 por hilera en una hectárea; con distancias de plantación de 10x10, 12x12, 14x14 y 15x15 m; predominando 12x12 m (70%); la unidad experimental fue un árbol con su análisis foliar y rendimiento y se seleccionaron árboles con circunferencia de tronco similar.

La producción de nuez por árbol se evaluó con dos métodos: (a) una estimación que cosecha solamente cuatro sectores (NO, NE, SO y SE) del árbol, lo que totaliza 1/25 del rendimiento, este valor se multiplica por 25 para estimar el total (Worley y Smith, 1984); se estimó la producción de 153 árboles en 17 huertas y (b) cosecha total de rendimiento por árbol, realizada por el productor. Se cosecharon 144 árboles en 19 huertas.

El muestreo foliar se hizo por árbol, con 80 folíolos, seleccionando los dos centrales de una hoja compuesta ubicada en la parte media del brote fructífero. La fecha fue del 15 de junio al 31 de julio. Se analizó la concentración, de los siguientes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B. Los métodos fueron: N con el destilador microkjeldahl, P por el método colorimétrico

con molibdato de amonio, B por colorimetría con curcumina, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn por absorción atómica.

Las normas DRIS se desarrollaron con un banco de datos de 297 observaciones de análisis foliar y rendimiento según la metodología propuesta por Beaufils (1973) y Sumner (1977). Se separó la población en altos y bajos rendimientos, el rendimiento límite fue de 35 kg árbol<sup>-1</sup> o 2,450 kg ha<sup>-1</sup>. Resultaron 132 árboles con 35 kg o más y 165 árboles con menos de 35 kg. En cada población se calculó la media ( $\bar{X}$ ), desviación estándar (D.S.), la varianza ( $S^2$ ) y el coeficiente de variación (C.V.) de P(%), N(%), N/P, P/N y otros cocientes (Cuadro 1). Se obtuvo la relación de varianza entre la población de bajos y altos rendimientos de cada expresión de nutrientes (N/P, P/N, N.P, etc.).

Cuadro 1. Valores de referencia o normas usadas para el cálculo de los índices DRIS en nogal pecanero cv Western. CIFAP-Región-Lagunera-INIFAP. 1987.

Expresión nutrientes <sup>1)</sup>	Norma <sup>2)</sup> ( $\bar{X}$ )	C.V. (%)	Expresión nutrientes	Norma ( $\bar{X}$ )	C.V. (%)
K/P	10.63	23.84	Mn/Fe	1.01	45.40
P/Ca	0.19	29.26	Fe.Zn	5199.80	50.68
P.Mg	0.04	21.96	Fe.Cu	743.68	33.89
P.Fe	14.17	35.58	Fe.B	10945.71	52.33
P.Mn	13.54	40.98	Fe.N	270.53	33.89
Zn/P	377.92	44.17	Mn.Zn	4911.64	51.06
Cu/P	54.97	29.67	Mn.Cu	727.00	46.89
B/P	805.72	51.53	Mn.B	10833.25	65.84
N/P	19.53	17.97	Mn.N	261.49	42.85
K.Ca	2.00	28.95	Zn/Cu	7.32	52.09
K.Mg	0.44	26.06	Zn/B	0.56	61.95
K.Fe	146.86	38.09	Zn/N	19.68	45.27
K.Mn	142.10	45.70	Cu/B	0.07	40.05
Zn/K	36.66	44.24	Cu/N	2.83	26.20
Cu/K	5.29	26.51	N/B	0.02	40.48
B/K	77.05	46.25	Ca.N	3.69	24.82
K/N	0.55	23.08	Fe/Mg	336.02	29.18
Mg/Ca	0.22	26.12	Mn/Mg	327.71	40.65
Fe/Ca	74.00	26.04	Mg.Zn	15.83	47.52
Mn/Ca	71.09	37.55	Mg.Cu	2.27	29.41
Ca.Zn	72.57	51.86	Mg.B	33.68	52.65
Ca.Cu	10.19	27.29	Mg.N	0.81	22.22
Ca.B	148.02	49.78			

1) Macronutrientes expresados en % y micronutrientes en ppm con base en peso seco.

2) Basado en la población de altos rendimientos: + de 35 kg/árbol.

Para la selección de las normas DRIS, se consideró la variación de la concentración de los nutrimentos con la edad de la hoja. En nogal pecanero, el N, P, K, Zn y Cu disminuyen y el Ca, Mg, Fe y Mn aumentan (Herrera y Sullivan, 1982; Enríquez *et al.*, 1975-79). Si ambas concentraciones de nutrimentos, disminuyen o aumentan con la edad de la hoja, se utilizan los cocientes (ejemplo: N/P, Ca/Mg); pero si divergen, se utilizan los productos (ejemplo: N,Ca) (Sumner, 1986).

Primero se seleccionaron los 24 productos con las expresiones que tenían Ca, Mg, Fe o Mn y cada una se relacionó con N, P, K, Zn, Cu o B. El resto de las expresiones (21) se seleccionaron como cocientes; ejemplo: de N/P y P/N, se escogió la que tenía la relación de varianza mayor (sin prueba estadística) (Letzsch, 1985). En ambos casos, la media ( $\bar{X}$ ) y el coeficiente de variación de la población de altos rendimientos, fue usada como norma de referencia. Para el cálculo de las normas DRIS, se utilizó un programa de computadora en lenguaje Fortran elaborado por Letzsch (1985) y generalizado por Sánchez (1988).

El cálculo de los índices DRIS y el orden de requerimientos se hizo con la metodología propuesta por Beaufils (1973). Un índice DRIS es la media de las funciones de todas las relaciones que contienen el nutrimento, el cual está balanceado cuando su índice es cero (Walworth y Sumner, 1987). En el cálculo de las funciones, si el nutrimento que se calcula está en el numerador se le da el signo positivo, pero si está en el denominador se le da el signo negativo. En una muestra foliar, la suma de los índices positivos y negativos debe ser cero, cuando se usan sólo cocientes como normas. Ordenando los índices del menor al mayor, se obtiene el orden de requerimientos de nutrimentos. El IDN se obtuvo sumando los valores absolutos de los índices de todos los nutrimentos de la muestra, a mayor IDN mayor desbalance y por lo tanto se esperaría un menor rendimiento; para obtener esto se graficó el IDN de 287 observaciones contra el rendimiento y para distinguir la población con problemas nutrimentales de la altamente balanceada, se

obtuvo un IDN límite que separa ambas poblaciones y que es la media ( $\bar{X}$ ) más una desviación estándar de todos los IDN (Davee *et al.*, 1986).

Cuando se usaron productos como normas en lugar de cocientes, Sumner (1986) indica que se debe hacer el siguiente cálculo: por ejemplo; N,Ca es igual a  $N(1/Ca)$  y  $1/Ca$  es redefinido como un nuevo nutrimento (X) que es el recíproco de Ca; por lo tanto se procede a calcular los índices usando  $N/X$  como el cociente tanto para la muestra como para la norma. Una vez que se calcula el índice de X, se cambia el signo y entonces se tiene el índice de Ca, por ejemplo: si  $X = -6$ , el índice de Ca será 6. De esta manera, los índices positivos y negativos ya no suman cero, pero aún así reflejan un balance relativo. El cálculo de los índices DRIS se realizó con un programa de computadora en lenguaje Basic elaborado por Sánchez (1988a) y que simplifica los cálculos cuando se utilizan productos.

Para probar las normas DRIS se utilizaron dos experimentos. El primero, realizado por Worley (1974), en Georgia E.U.A., durante 10 años con el cv Stuart de 40 años y en suelos ácidos, las hojas fueron colectadas de brotes fructíferos y no fructíferos; se analizaron: N, P, K, Ca, Mg y Mn. Se aplicaron cinco tratamientos de N, P y K al suelo y se obtuvo respuesta hasta el octavo año con el tratamiento 3. Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre los índices DRIS, el IDN y el rendimiento. El diagnóstico se comparó con los intervalos de suficiencia de Georgia, porque fue donde se realizó el experimento y cuyos valores son: N = 2.5-3.0%; P = 0.12-0.30%; K = 0.75-1.25%; Ca = 0.70-1.50%; Mg = 0.30-0.60% y Mn = 100-800 ppm (Plant Testing Service, 1974-79). El segundo experimento, se realizó por Medina y Aguilar (1986) en Zaragoza, Coah., en árboles en desarrollo del cv Western, se aplicaron cinco dosis de Mn al follaje y se muestreó hojas de brotes fructíferos y no fructíferos durante cuatro fechas para analizar la concentración de: P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu. No se evaluó el rendimiento porque los árboles iniciaban su

producción. Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre los índices DRIS y el IDN de la concentración promedio de las cuatro fechas y el diagnóstico se comparó con los intervalos de suficiencia de Louisiana E.U.A. (que es una región similar a Zaragoza, Coah.) y cuyos valores son: P = 0.12-0.30%; K = 1.0-2.0%; Ca = 0.70-2.0%; Mg = 0.30-0.60%; Fe = 50-300 ppm; Mn = 100-1000 ppm; Zn = 50-150 ppm; Cu = 8-20 ppm (O'Barr y McBride, 1980). Además se calculó el porcentaje de árboles con y sin problemas nutrimentales y con otro tipo de problemas de acuerdo al IDN y el rendimiento.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Las normas DRIS para nogal pecanero se muestran en el Cuadro 1, estos son los valores de referencia que van a servir para calcular los índices DRIS, el orden de requerimientos y el IDN de una muestra foliar. Estas normas se desarrollaron con pocas observaciones (menos de 1,000) y según Letzsch y Sumner (1984),

deben ser varios miles; por lo tanto se requiere incrementar el archivo de datos con observaciones de otras regiones como Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Norte de Coahuila; para desarrollar normas a nivel nacional con más de 1,000 observaciones y realizar diagnósticos con mayor precisión. Sin embargo, estas normas se probaron con dos experimentos ya realizados, para ver si se podían utilizar provisionalmente, para realizar diagnósticos en nogal pecanero.

La prueba de las normas con el experimento de Georgia E.U.A. (Cuadro 2) indica que, en el testigo, los nutrimentos más requeridos son Mg>Ca>K y esto es lógico, ya que son suelos ácidos; los que están en suficiencia o exceso relativo son: N>P>Mn. Al aplicar el tratamiento 2, el índice de K se reduce de -10 a -8 y el de N de -3 a -2; el rendimiento se mantiene igual pero el IDN se reduce. Con el tratamiento 3 (45-20-37), el índice de K se reduce hasta -2 y el de N a -1, lo que indica respuesta a estos dos nutrimentos, pero con mayor intensidad a K; el rendimiento de nuez

Cuadro 2. Efecto de aplicación de N-P-K en nogal pecanero cv Stuart<sup>1)</sup>, con los métodos DRIS e Intervalo de suficiencia. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

Trat. kg/ha N - P - K	Nutrimentos						Rend. kg/árbol	IDN	Orden de requerimientos	Intervalo de suficiencia
	N	P	K	Ca	Mg	Mn				
0 - 0 - 0	2.09 <sup>2</sup> -3 <sup>3</sup>	0.17	0.99	1.4	0.28	312	55 A	125	Mg>Ca>K>N>P>Mn	N, Mg↓
22- 10- 19	2.11 -2	0.17	1.01	1.5	0.31	300	54 A	110	Mg>Ca>K>N>P>Mn	N↓
45- 20- 37	2.12 -1	0.18	1.11	1.6	0.36	318	79 B	99	Ca>Mg>K>N>P>Mn	N↓
90- 39- 74	2.26 7	0.17	1.21	1.4	0.28	397	65 AB	146	Mg>Ca>K>N>P>Mn	N, Mg↓
134- 59- 112	2.18 2	0.18	1.20	1.6	0.22	511	66 AB	212	Mg>Ca>N>K>P>Mn	N, Mg↓
		43	4	-10	-47	106				

1) Worley (1974).

2) Concentración %: N, P, K, Ca y Mg; ppm: Mn.

3) Índice nutrimental.

\* Nivel de significancia: 5%.

IDN =Índice de desbalance nutrimental.

sube, es el mayor y es diferente en forma significativa a los tratamientos 1 y 2, además el IDN se reduce y es el menor de los cinco tratamientos; esto coincide con Sumner (1986), quien señala que al probar las normas DRIS, éstas deben detectar los mejores tratamientos de fertilización para lograr una respuesta en rendimiento.

Con el tratamiento 3, también se reducen los índices de Mg de -20 a -5; sin embargo, con los tratamientos 4 y 5, se hace más negativo o deficiente (-47) y el K ya está en suficiencia, lo que coincide con Emmert (1961), quien señala que en algunos frutales, al aumentar el K se reduce el Mg. Los tratamientos 4 y 5 no son los adecuados ya que reducen el rendimiento y aumentan el IDN y este incremento es porque el Mn está disponible en grandes cantidades y aumenta más con estos tratamientos y como también se está aumentando la fertilización con P, es probable que suceda lo que señalan Bingham y Garber (1960), que la disponibilidad de Mn (deficiencia o exceso) se incrementa con la fertilización de P.

El intervalo de suficiencia detectó como deficientes N y Mg, pero no Ca y K, ni el exceso de Mn y P, porque no considera la interacción de nutrimentos. Con este experimento se comprueba que con las normas obtenidas de 297 observaciones del cv Western en hojas muestreadas en brotes fructíferos y en suelos alcalinos, se puede predecir el comportamiento de un experimento donde hubo respuesta en rendimiento, realizado en el cv Stuart con muestreo de brotes fructíferos y no fructíferos y en suelos ácidos.

Con el experimento de Mn, se observó que conforme se incrementan las dosis aplicadas, se reducen los índices DRIS de Mn de -89 a -11 y el IDN de 248 a 113. El testigo indica que el más requerido es el Mn, por lo tanto, se esperaba respuesta al aplicarlo ya que pasa al 2o., 3o. y 4o. lugar de requerimiento. El mejor tratamiento (el 5 con 2000 ppm), redujo los índices, tiene el IDN menor y el Mn ya está en nivel suficiente. -

El Zn era el segundo nutrimento más requerido y los índices se reducen al aplicar el Mn; pero siempre es el más requerido en los cuatro tratamientos porque no se aplicó y es el nutrimento más comúnmente requerido en nogal en suelos calcáreos (O'Barr, 1977). También se observa que el Mg tiende a hacerse más negativo o deficiente al incrementar las dosis de Mn y pasa del 6o. al 2o. orden de requerimiento, lo que sugiere que al aumentar el Mn, se reduce el Mg. El intervalo de suficiencia detectó como deficientes: P, K, Mn, Zn, Cu, Mg y en exceso Ca; pero no señala el orden de requerimientos porque no considera la interacción de nutrimentos (Cuadro 3).

Como también se predijo el comportamiento de los árboles del experimento realizado en el cv Western, en suelos alcalinos, y en donde hubo respuesta en la concentración de Mn, se reafirma que estas normas son capaces de realizar diagnósticos nutrimentales en las huertas de la región; sin embargo, es conveniente calibrarlas con un experimento local para verificar la precisión del diagnóstico.

La relación entre el IDN y el rendimiento se muestra en la Figura 1. Cada punto representa el IDN de un árbol relacionado con su rendimiento y se observa que los altos rendimientos se asocian con un IDN cercano a cero (región A). El valor del IDN (línea punteada) que separa la población con problemas nutrimentales (región B) de la balanceada (región A) es de 124.

Los árboles que tienen un IDN mayor de 124 y que pertenecen a la región B, están desbalanceados nutrimentalmente debido a deficiencias y excesos y no tienen oportunidad de obtener altos rendimientos como los de la región A, sin embargo, en esta región hay árboles con bajo rendimiento, no obstante su IDN bajo, debido a que los factores limitantes de la producción no son nutrimentales (Davee *et al.*, 1986) (pueden ser: suelo, agua, plagas, enfermedades, etc.). Este patrón triangular no se ajustó a ningún modelo lineal ni raíz cuadrada ( $r^2=0.15$ ); pero coincide con

Cuadro 3. Efecto de aplicación de Mn en nogal pecanero cv Western de 6 años<sup>1)</sup>, con los métodos DRIS e Intervalo de suficiencia. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

Trat. Mn (ppm)	Nutrimentos								IDN	Orden de requerimien- tos	Intervalo de suficiencia
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu			
0	0.09a <sup>2)</sup> -4 <sup>3)</sup>	0.78a -19	2.2a 14	0.32a -16	95a -19	36c -89	12a -68	4a -19	248	Mn>Zn>Fe>Cu>K>Mg>P>Ca	P K Mn Zn Cu ↓ Ca ↑
500	0.09a .1	0.80a -10	2.5a 13	0.33a -20	99a -23	56b -53	11a -62	4a -11	191	Zn>Mn>Fe>Mg>Cu>K>P>Ca	P K Mn Zn Cu ↓ Ca ↑
1000	0.10a -.1	0.83a -13	1.9a 4	0.27a -25	108a -11	70b -29	13a -53	6a 5	139	Zn>Mn>Mg>K>Fe>P>Ca>Cu	P K Mg Mn Zn Cu ↓
1500	0.09a -1	0.84a -6	2.2a 5	0.29a -26	107a -16	91a -20	12a -51	5a .5	125	Zn>Mg>Mn>Fe>K>P>Cu>Ca	P K Mg Mn Zn Cu ↓ Ca ↑
2000	0.09a -5	0.92a -4	1.9a .1	0.27a -28	100a -17	107a -11	13a -46	5a -1	113	Zn>Mg>Fe>Mn>P>K>Cu>Ca	P K Mg Zn Cu ↓

1) Medina y Aguilar (1986)

2) Concentración %: P, K, Ca y Mg; ppm: Fe, Mn, Zn y Cu

3) Índice nutrimental

\* Nivel de significancia: 5%

IDN = Índice de desbalance nutrimental

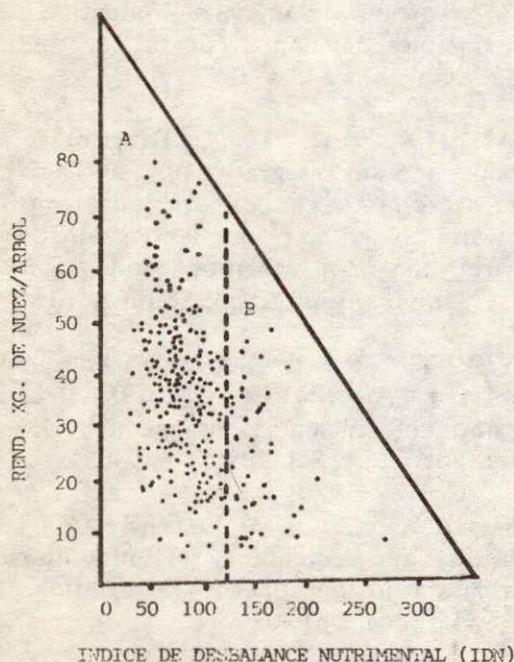


Figura 1. Relación entre el IDN y el rendimiento de nogal pecanero. La región A representa una zona donde el factor nutrimental no limitó el rendimiento. En la región B el desbalance ha rebasado el límite y factores nutrimentales limitan el rendimiento. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

el reportado en cerezo dulce (Davee *et al.*, 1986) y en aguacate (Núñez, 1987).

Los árboles que no tienen problemas nutrimentales, por tener un rendimiento alto (+ de 35 kg/árbol) y un IDN bajo (- de 124), son el 49%. También existen árboles con rendimiento alto (+ de 35 kg/árbol) e IDN alto (+ de 124), que es lo contrario a lo que se esperaría encontrar; sin embargo, es la minoría (3%). Los que tienen problema nutrimental por alguna deficiencia o exceso, con rendimiento bajo (- de 35 kg/árbol) e IDN alto (+ de 124) son el 11%. Además existe un 37% de árboles que tienen un rendimiento bajo (- de 35 kg/árbol) y un IDN bajo (- de 124) (Cuadro 4).

Como se evaluaron árboles individuales, sin problema aparente de sombreo y la distancia de plantación en la mayoría de las huertas (70%) fue de 12x12 m = 70 árboles/ha, el incluir la densidad de plantación, no afectaría mucho estos resultados. Los árboles con un rendimiento alto, mayor de 35 kg/árbol, produjeron 2.5 ton ha<sup>-1</sup> o más; el cual es un rendimiento muy bueno.

Cuadro 4. Relación entre rendimiento e índice de desbalance nutrimental (IDN) en nogal pecanero cv Western. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. 1987.

Arboles con problema nutrimental	Rendimiento	IDN	No. de árboles	% de árboles
No	Alto <sup>1)</sup>	Bajo <sup>3)</sup>	140	49
No	Alto <sup>2)</sup>	Alto <sup>4)</sup>	10	3
Si	Bajo <sup>2)</sup>	Alto	31	11
Otro	Bajo	Bajo	106	37
	Total		287	100

1) + de 35 kg árbol<sup>-1</sup>

2) - de 35 kg árbol<sup>-1</sup>

3) - de 124

4) + de 124

El que hayan resultado pocos árboles (11%) con problemas nutrimentales y un 37% con otro problema; está sugiriendo que existen otras causas que reducen el rendimiento, que son más importantes y que tienen que identificarse primero y resolverse antes de aplicar nutrimentos, ya que no se obtendría una respuesta inmediata en rendimiento. Estos problemas, junto con el nutrimental, son los que están reduciendo el potencial de producción de nuez en la región de 3.3 ton ha<sup>-1</sup>, ya que una buena producción es de 2 ton ha<sup>-1</sup> y la obtienen pocos nogaleros y el rendimiento medio regional y nacional es de 1 ton ha<sup>-1</sup>.

### CONCLUSIONES

Con las normas DRIS para nogal pecanero a nivel regional, con 297 observaciones se predijo el comportamiento de dos experimentos donde hubo respuesta en la concentración y el rendimiento; por lo tanto, con estas normas se pueden realizar diagnósticos nutrimentales en las huertas de la región.

Es necesario desarrollar normas DRIS a nivel nacional para realizar diagnósticos nutrimentales con mayor precisión. Además se requiere calibrar o probar las normas con un experimento regional.

Los árboles que tienen un IDN mayor de 124, no tienen oportunidad de obtener altos

rendimientos, debido a deficiencias o excesos de nutrimentos.

Existe un 37% de árboles con bajos rendimientos y un IDN bajo, cuyo problema principal no es nutrimental y el cual debe identificarse y resolverse primero, para aumentar el rendimiento a 3.3 ton ha<sup>-1</sup>, que es el potencial del nogal pecanero en la región.

### AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ernesto Romero Fierro, jefe del laboratorio del CENID-RASPA-INIFAP, donde se realizaron los análisis foliares; al Sr. Francisco Alvarado L. por su colaboración en el trabajo de campo y a José Luis Sánchez Jaime, operador de computadora.

### LITERATURA CITADA

BEAUFILS, E.R. 1971. Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. J. Fert. South Africa. 1:1-13.

BEAUFILS, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Soil Sci. Bull. No. 1. University of Natal, South Africa.

BEVERLY, R.B., J.C. STARK, J.C. OJALA y T.W. EMBLETON. 1984. Nutrient diagnosis of 'Valencia' orange by Dris. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109(5): 649-654.

BINGHAM, F.T. y M.J. GARBER. 1960. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. Soil Sci. Soc. Procc. pp. 209-213.

DAVEE, D.E., T.L. RIGHETTI, E. FALLAHI y S. ROBBINS. 1986. An evaluation of the DRIS approach for identifying mineral limitations on yield in 'Napolean' sweet cherry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(6): 988-993.

- DOW, A.I. y S. ROBERTS. 1982. Proposal: Critical nutrient ranges for crops diagnosis. *Agronomy Journal* 74: 401-403.
- ELWALI, A.M.O. y G.J. GASCHO. 1984. Soil testing, foliar analysis and Dris as guide for sugarcane fertilization. *Agronomy Journal* 76: 466-470.
- ELWALI, A.M.O., G.J. GASCHO y M.E. SUMNER. 1985. Dris norms for 11 nutrients in corn leaves. *Agronomy Journal* 77: 506-508.
- EMMERT, F.H. 1961. The bearing of ion interactions on tissue analysis results. In: *Plant analysis and fertilizer problems*. Walter Reuther (Ed.) Pub. No. 8 American institute of biological sciences. Washington D.C. pp. 231-243.
- ENRIQUEZ R., S., A. LAGARDA M., A. SALAS y F. CHAVEZ G. 1975-79. Curva de variación de 9 nutrientes en el cultivo del nogal pecanero en la región del centro-norte de México. Informe de investigación. CAELALACIAN-INIA.
- HERRERA A., E. y D.T. SULLIVAN. 1982. Pecan leaf sampling: A Review. Sixteenth Western Pecan Conference Procc. New Mexico State University. Coop. Ext. Serv. pp. 75-94.
- LETZSCH, W.S. 1984. Standarized diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) data banks. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 15(7): 841-848.
- LETZSCH, W.S. 1985. Compute program for selection of norms for use in the Diagnosis and recommendation integrated system *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 16: 339-347.
- LETZSCH, W.S. y M.E. SUMNER. 1984. Effect of population and yield level in selection of Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 15(9): 997-1006.
- MEDINA M., E. DE J. y J.H. AGUILAR P. 1986. Prueba de respuesta a manganeso en nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en el Norte de Coahuila. Informe de investigación. CEZAR-CIFAP-Coahuila-INIFAP. En prensa.
- MELDAL-JOHNSEN, A. y M.E. SUMNER. 1980. Foliar diagnostic norms for potatoes. *Journal of plant nutrition* 2(5): 569-576.
- MENGEL, K. y E.A. KIRKBY. 1982. *Principles of plant nutrition*. 3rd. Edition Publisher: International Institute Switzerland. pp. 267-273.
- NUÑEZ M., J.H. 1987. Evaluación del método DRIS para la determinación del estado nutrimental del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv Fuerte. Tesis de maestría en ciencias. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- O'BARR, R.D. 1977. Nutrients: Their impact. *Pecan Quarterly*. 11(4): 4-10.
- O'BARR, R.D. y J.H. McBRIDE. 1980. Pecan leaf sampling for commercial growers. *Pecan South*. 7: 42-45.
- PLANT TESTING SERVICE. 1974-79. University of Georgia, E.U.A. The best of Pecan South.
- SANCHEZ V., L.R. 1988. Programa Fortran generalizado para el cálculo de las normas DRIS. Informe de Investigación de Cómputo y Estadística. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. En prensa.
- SANCHEZ V., L.R. 1988a. El cálculo de las normas e índices DRIS. Un análisis matemático. Informe de Investigación de Cómputo y Estadística. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP. En prensa.
- SUMNER, M.E. 1977. Preliminary NPK foliar diagnosis norms for wheat. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 8(2): 149-167.

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

SUMNER, M.E. 1986. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. Food and fertilizer technology center. Extension bull. No. 231.

SUMNER, M.E. y F.C. BOSWELL. 1981. Alleviating nutrient stress. In: Arkin, G.F. and H.M. Taylor (Eds.) *Modifying the root environment to reduce crop stress*. Am. Soc. Agr. Eng. Monograph. 4: 99-137.

WALWORTH, J.L. y M.E. SUMNER. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advances in Soil Science* (6): 149-188.

WORLEY, R.E. 1974. Effect of N, P, K and lime on yield, nut quality, tree growth and leaf analysis of pecan (*Carya illinoensis* W.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99(1): 49-57.

WORLEY, R.E. y M. SMITH. 1984. A method of estimating pecan yield. *HortScience* 19(5): 664.

EVALUACION EN CAMPO DE *Bradyrhizobium japonicum* EN  
DOS VARIETADES DE SOYA (*Glycine max* L.)

Field Evaluation of *Bradyrhizobium japonicum*  
In Soybeans (*Glycine max* L.)

A. Ma. Jiménez J., V. Olalde-Portugal  
y Peña-Cabriales

CINVESTAV-IPN, Apartado postal 629,  
36500 Irapuato, Gto. México

*Palabras clave:* Fijación de nitrógeno,  
inoculación en campo, Soya.

*Index words:* Nitrogen fixation, Field  
inoculation, Soybean, *Bradyrhizobium*  
*japonicum*.

RESUMEN

La introducción del cultivo de soya a la  
región del Bajío en Guanajuato, comienza a  
adquirir importancia.

En este sentido se hizo relevante, estudiar  
la simbiosis que este cultivo realiza con  
*Bradyrhizobium japonicum*.

En el presente trabajo se evaluaron cinco  
cepas de *Bradyrhizobium japonicum* bajo  
condiciones de campo, en un sitio donde nunca  
se había sembrado soya (*Glycine max* L.). Los  
resultados revelaron la ausencia de cepas  
nativas de *Bradyrhizobium* lo que permitió  
evaluar la eficiencia relativa de las cepas  
probadas.

Se observó la respuesta a la inoculación de  
las cepas Rj8 y Rj11, que fueron capaces de  
nodular y fijar nitrógeno en las dos  
variedades en estudio (Davis y BM-2).

Las variedades respondieron bien a las  
condiciones climatológicas de la zona,  
obteniéndose rendimientos similares cuando se  
fertilizaron con nitrógeno de  $1.38 \text{ ton ha}^{-1}$   
para la variedad Davis y  $1.26 \text{ ton ha}^{-1}$  para la  
BM-2). Cuando se inocularon con las cepas Rj8  
y Rj11, las cuales presentaron una eficiencia  
relativa de 96.05% y 94.3% respectivamente,  
los rendimientos fueron superiores. En este  
sentido, el mejor tratamiento fue el de la  
variedad BM-2 inoculada con la cepa Rj11,  
donde se obtuvo un rendimiento de  $3.07 \text{ ton}$   
 $\text{ha}^{-1}$ .

Se observó en general, la capacidad que  
tienen las dos variedades para adaptarse a la  
zona, acompañadas desde luego por cepas  
eficientes.

SUMMARY

Five strains of *Bradyrhizobium japonicum*  
were evaluated under field conditions in a  
zone where soybeans (*Glycine max* L.) has never  
been sown. The results permitted the  
evaluation of the relative efficiency of the  
tested strains. Inoculation response was  
observed in the two *Bradyrhizobium* strains,  
Rj8 and Rj11.

The strains were able to nodulate and fix  
nitrogen in the two varieties under study,  
Davis and BM-2.

The varieties responded well to the climatic conditions of the area. The varieties gave similar yields when nitrogen was used as fertilizer. The variety Davis yielded 1.38 ton ha<sup>-1</sup> and BM-2 yielded 1.26 ton ha<sup>-1</sup>.

The Rj8 and Rj11 strains, when used to inoculate the varieties showed a high relative efficiency, 96.05% and 94.3%, respectively; soybean yields were higher.

The best treatment was the BM-2 variety inoculated with the Rj11 strain and showing a yield of 3.07 ton ha<sup>-1</sup>.

These results showed the capacity of the varieties to adapt to the zone when they are accompanied by efficient strains.

## INTRODUCCION

En México el cultivo de soya ha venido teniendo mayor aceptación entre los agricultores. Actualmente los estados de mayor producción de soya son Sonora y Sinaloa principalmente. En el Bajío algunos campesinos comienzan a interesarse por este cultivo, sin embargo, prácticamente no existe información al respecto en esta región.

El éxito económico de introducir este cultivo depende de la variedad por utilizar así como del buen establecimiento con su microsimbionte (*Bradyrhizobium japonicum*).

El establecimiento de la simbiosis a su vez depende no sólo de la especificidad de la cepa y la leguminosa (Brock, 1978; Vest *et al.*, 1973; Caldwell y Vest, 1968), así mismo de los factores edáficos, climáticos y microbiológicos a los que se enfrenta (Ablett *et al.*, 1984; Lemeragan, 1972; Nutman, 1972). Por otra parte, se sabe que las cepas de *B. japonicum* difieren en su capacidad para nodular y fijar nitrógeno (Vest *et al.*, 1973). En un sentido práctico es conocido que los mayores rendimientos se obtienen cuando los inoculantes son usados en áreas donde no existen cepas nativas (Caldwell y Vest, 1968).

Las cantidades de nitrógeno que puede fijar el cultivo de soya, se han estimado que oscilan entre 60 y 160 kg de N<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (National Academy of Science, 1979).

Además de su calidad alimenticia, la soya representará una alternativa en la rotación de cultivos en el mejoramiento de las características físico-químicas del suelo, y en la economía del agricultor por la disminución en el uso de fertilizantes nitrogenados.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar agrónomica y microbiológicamente cepas de *Bradyrhizobium japonicum* en dos variedades de soya (BM-2 y Davis), bajo condiciones de campo.

## MATERIAL Y METODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Irapuato, en un suelo, Vertisol Pélico arcilloso (típico de la región denominada Bajío), pobre en nitrógeno, materia orgánica y extremadamente rico en calcio, magnesio y potasio con un pH de 6.9.

Las cepas microbianas utilizadas fueron: *Bradyrhizobium japonicum* Rj4a (Sinaloa, México), *B. japonicum* E82-Rj6 (Brasil), *B. japonicum* E83-Rj8 (Bolivia- ENCB B504), *B. japonicum* E86-Rj11 (Brasil SEMIA 587) y *B. japonicum* E86-Rj12 (Brasil SEMIA 5019), y se mantuvieron en el medio extracto de levadura manitol (ELM) a 4°C.

Las variedades de soya (*Glycine max* L.) utilizadas fueron la BM-2 (donada por semillas Berensen) y Davis (donada por el DIF Guanajuato).

El inoculante se preparó de la siguiente manera: las cepas se cultivaron en ELM líquido durante 72h a 29°C en baño metabólico (Marca Forma Scientific) con una agitación constante de 120 oscilaciones por minuto.

Cuando se tuvo el caldo microbiano se impregnó la turba, se envasó en bolsas de polietileno y se incubó a 29°C durante cinco días. Después se mantuvo a 4°C hasta su uso.

Se utilizó diseño experimental en bloques al azar con parcelas divididas, obteniéndose 14 tratamientos con tres repeticiones cada uno (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relación de tratamientos\*.

Tratamiento** (número)	Cepa	N kg ha <sup>-1</sup>	Variedad
1	B. japonicum Rj12	15	Davis
2	" " Rj12	15	BM-2
3	" " Rj4a	15	Davis
4	" " Rj4a	15	BM-2
5	-	60	Davis
6	-	60	BM-2
7	-	0	Davis
8	-	0	BM-2
9	B. japonicum Rj8	15	Davis
10	" " Rj8	15	BM-2
11	" " Rj11	15	Davis
12	" " Rj11	15	BM-2
13	" " Rj6	15	Davis
14	" " Rj6	15	BM-2

\* Todos los tratamientos fueron fertilizados con 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

\*\* Cada tratamiento tuvo 3 repeticiones.

Cada tratamiento consistió en una parcela de cuatro surcos de 2.5 m de largo y una distancia entre surcos de 0.76 m. La parcela útil consistió en los dos surcos centrales dejando un margen de 0.25 m en las orillas. El área total del experimento fue de 336 m<sup>2</sup>.

El inoculante se aplicó al momento de la siembra, el inoculante se aplicó en una proporción de 5% (p/p). Primeramente se adicionó a la semilla una solución azucarada al 10%, luego se impregnó con el inoculante y después se procedió a sembrar.

Se tomaron las precauciones necesarias para evitar la pérdida de células en el inoculante.

La siembra fue manual y a chorrillo en tierra venida, a una profundidad de 4 cm.

La densidad de siembra fue de 80 kg de semilla ha<sup>-1</sup>. Todos los tratamientos se fertilizaron con fósforo a razón de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Como fuente de fósforo se usó superfosfato de calcio simple.

En el caso de los testigos nitrogenados se utilizaron 60 unidades de nitrógeno por hectáreas. Los tratamientos inoculados recibieron una dosis de nitrógeno de arranque en 15 unidades de nitrógeno por hectáreas y la fuente utilizada fue sulfato de amonio.

Todas las fertilizaciones fueron al momento de la siembra.

Se realizó un riego pesado ocho días antes de la siembra y se efectuó otro después de la floración, es decir, cuando el cultivo estaba formando vaina. No se aplicaron más riegos debido a que se suscitaron las lluvias constantes.

Se realizaron cuatro deshierbes durante el ciclo vegetativo, a los 8, 22, 43 y 80 días después de la siembra.

Se controlaron las plagas *Diabrotica undecimpunctata*, *Epilacha vanvestis* M. y *Nezara viridura* L. con Sevin ochenta a razón de 1 kg ha<sup>-1</sup>.

Se realizaron dos muestreos, el primero en la época de floración (50%) y el segundo a la cosecha.

En el primer muestreo se tomaron dos plantas por tratamiento y por variedad, con todo y bloque de suelo y se llevaron al laboratorio en bolsas de polietileno con mucho cuidado de no dañar los nódulos.

En este muestreo se determinaron los siguientes parámetros:

- Reducción de acetileno. La raíz se colocó en tubos de ensayo de 35 ml, los cuales se sellaron con un tapón serológico y cinta (Parafilm). Se extrajo el 10% del aire del tubo, y el volumen extraído se le inyectó con acetileno generado en el laboratorio.

Se incubaron los tubos en obscuridad a 29°C durante una hora, posteriormente se inyectó al cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5880) una muestra de 100  $\mu$ l por tubo, para medir la producción de etileno.

La columna utilizada fue 1.5 mm x 1.5 m, conteniendo como soporte Porapak N, el detector utilizado fue el de ionización de flama. Las condiciones para realizar la cromatografía fueron: temperatura del horno 100°C, del inyector y detector 120°C, el gas acarreador fue N<sub>2</sub> a un flujo de 40 ml min<sup>-1</sup>.

Para determinar liberación de hidrógeno se colocó la raíz de otra planta en un tubo de ensaye de 35 ml, el cual se selló con un tapón serológico. Los tubos se incubaron una hora a 29°C y posteriormente se tomó una muestra de 200  $\mu$ l de la atmósfera del tubo y se inyectó al cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5890).

La columna contenía un soporte de tamiz molecular 5A, las condiciones cromatográficas fueron: temperatura del horno 80°C, temperatura del detector e inyector 100 y 200°C, respectivamente, el gas acarreador fue He con un flujo de 30 ml min<sup>-1</sup>.

A las plantas que se usaron para reducción de acetileno y liberación de H<sub>2</sub> se les determinó número de nódulos, peso seco de los mismos y peso de follaje.

En el segundo muestreo se realizó a la cosecha evaluando el rendimiento del grano.

Para el análisis estadístico de los datos, se efectuó un análisis de varianza y para la inferencia estadística acerca de la separación de medias de los tratamientos se usó la prueba de "Tukey" a una significancia del P = 0.05. Cabe aclarar que para los parámetros de número de nódulos, peso seco de nódulos, reducción de acetileno y liberación de hidrógeno se transformaron con  $\sqrt{x}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSION

Primeramente llamo la atención que en el suelo donde se realizó el experimento no existían cepas de *Bradyrhizobium japonicum* para las variedades estudiadas Davis y BM-2. La ausencia de cepas nativas en esta región también fue reportada por Ramírez (1986) para Pénjamo, Gto.

### Número de Nódulos

Como se muestra en el Cuadro 2, la cantidad de nódulos formados por las cepas utilizadas en las variedades Davis y BM-2 varió significativamente. Es notorio observar que las cepas Rj12, Rj4a y Rj6 no formaron nódulos. Las posibles causas de esta respuesta pudieron ser: i) la pobre sobrevivencia del *Bradyrhizobium* a diferentes factores bióticos (predación y/o parasitismo, etc.) o a factores abióticos (temperatura, pH y humedad, etc.) como lo sugieren, Danso y Nangju, (1975), Iswaran *et al.* (1970), ii) el efecto inhibitorio de la aplicación de nitrógeno combinado (Devine, 1984), iii) el tipo de suelo (Summerfield *et al.*, 1974), iv) la no preferencia de estas variedades por las cepas de *Bradyrhizobium*.

Cuadro 2. Número de nódulos formados por las diferentes cepas en las dos variedades de soya.

Tratamiento	Variedades	
	Davis No/planta	BM-2 No/planta
Fertilizado con N	0	0
Sin fertilizar con N	0	0
Rj4a	0	0
Rj6	0	0
Rj12	0	0
Rj8	137a	19b
Rj11	43b	47a

Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos, la separación de medias se hizo a una significancia P= 0.05.

Asimismo, fue notorio observar que en la variedad Davis la cepa Rj8 formó una mayor

cantidad de nódulos mientras que en la variedad BM-2 la mejor cepa fue la Rj11. Estos datos concuerdan con las observaciones de Caldwell y Vest (1970), quienes encontraron que existe una interacción fuerte entre el genotipo de soya y cepa de *Bradyrhizobium japonicum* en relación a la formación de nódulos.

### Peso seco de nódulos

De las dos cepas que nodularon, la Rj8 fue la que produjo el mayor peso seco en las dos variedades 0.82 g planta<sup>-1</sup> para la Davis y 0.70 g por planta para la BM-2 (Cuadro 3). No se observó una relación directa entre número y peso seco de nódulos. Esto era de esperarse, de acuerdo a los resultados mostrados por Abel y Erdman (1984), puesto que encontraron resultados similares en soya.

Cuadro 3. Peso seco de los nódulos formados en las dos variedades de soya.

Tratamiento	Variedad	
	Davis (g/planta)	BM-2 (g/planta)
Fertilizado con N	0	0
Sin fertilizar con N	0	0
Rj4a	0	0
Rj6	0	0
Rj12	0	0
Rj8	0.82a	0.71a
Rj11	0.25b	0.17b

Valores con letras diferentes indican diferencia estadística significativa (P = 0.05).

### Peso seco de follaje

La variedad BM-2 produjo la mayor cantidad de materia seca cuando se inoculó con la cepa Rj8 (21.64 g planta<sup>-1</sup>) (Cuadro 4) mientras que la variedad Davis mostró la mayor cantidad de follaje con la aplicación de la cepa Rj11. Cabe mencionar que estas cepas produjeron resultados estadísticamente iguales a los obtenidos en los tratamientos con nitrógeno combinado. Respuestas similares reportó

Bezdicsek *et al.* (1978) cuando evaluó 11 cepas de *Bradyrhizobium japonicum*.

Cuadro 4. Efecto de la inoculación con diferentes cepas de *B. japonicum* sobre el peso seco del follaje de las dos variedades de soya.

Tratamiento	Variedades	
	Davis (g/planta)	BM-2 (g/planta)
B. japonicum Rj4a	6.96c	8.88b
" " Rj6	10.23bc	11.32bc
" " Rj8	17.80a	21.64a
" " Rj11	19.72a	21.0a
" " Rj12	6.28c	5.73c
Testigo con Nitrógeno**	18.30a	21.49a
Testigo sin Nitrógeno	5.66c	5.96c

\* Letras diferentes indican que existe diferencia estadística significativa (P = 0.05).

\*\* Se aplicaron 60 kg de N ha<sup>-1</sup> como (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al momento de la siembra.  
Se aplicaron 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como super fosfato de calcio al momento de la siembra.

### Reducción de acetileno

La reducción de acetileno como medida indirecta de la actividad nitrogenasa fue utilizada para evaluar las cepas (Hardy *et al.*, 1973). Los resultados se muestran en el Cuadro 5, donde se observa la cantidad de etileno producido por peso seco de nódulos. En la variedad BM-2 ambas cepas presentaron resultados similares, en tanto que en la variedad Davis la cepa Rj11 mostró los mejores resultados. A este respecto, el trabajo de Bezdicsek *et al.* (1978) presentó cepas que generaban más etileno que lo mostrado aquí, aunque como se sabe esta prueba es una estimación gruesa de la actividad de la nitrogenasa.

### Liberación de hidrógeno

La cepa Rj8 en la variedad Davis fue la que menor cantidad de hidrógeno liberó debido posiblemente a que tiene un sistema más eficiente de reciclaje de H<sub>2</sub>. En esta misma variedad la cepa Rj11 liberó mayor cantidad de H<sub>2</sub> (Cuadro 6).

Cuadro 5. Reducción de acetileno en las variedades de soya noduladas en *B. japonicum* a los 78 días después de la siembra.

Tratamiento	Variedades	
	Davis $\mu\text{M etileno h}^{-1}$ g seco nod. <sup>-1</sup>	BM-2 $\mu\text{M etileno h}^{-1}$ g seco nod. <sup>-1</sup>
<i>B. japonicum</i> Rj8	1.92b	10.83a
" " Rj11	16.68a	10.39a

\* Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos (P = 0.05).

Cuadro 6. Liberación de hidrógeno en las variedades de soya noduladas con *B. japonicum* a los 75 días después de la siembra.

Tratamiento	Variedades	
	Davis $\mu\text{M H}_2\text{h}^{-1}$ g nod. seco <sup>-1</sup>	BM-2 $\mu\text{M H}_2\text{h}^{-1}$ g nod. seco <sup>-1</sup>
<i>B. japonicum</i> Rj8	0.19b	0.36b
" " Rj11	0.81a	0.75a

\* Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P = 0.05).

Estas cantidades contrastan con las reportadas para otro sistema *Rhizobium*-leguminosa, donde se observaron cantidades de hidrógeno liberado más bajas ( $0.02 \mu\text{M H}_2 \text{ h}^{-1}$  g peso seco de nódulo<sup>-1</sup>) (Truelsen y Wyndaele, 1984).

#### Eficiencia relativa

Tomando en cuenta reducción de acetileno y liberación de hidrógeno como lo mencionan Schubert y Evans (1976) se estimó la energía que ocupa *Rhizobium* para fijar  $\text{N}_2$  (eficiencia relativa). Como se muestra en el Cuadro 7 las cepas fueron altamente eficientes y no presentaron diferencias.

Cuadro 7. Eficiencia relativa de las cepas de *B. japonicum* en las variedades BM-2 y Davis.

Tratamiento	Variedades	
	Davis ER(%)	BM-2 ER(%)
<i>B. japonicum</i> Rj8	90	93
" " Rj11	95	97

ER\* Eficiencia relativa

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron superiores a las reportadas para otros sistemas leguminosa-*Rhizobium* donde las eficiencias relativas oscilan de 20-60% (Schubert y Evans, 1976). Sin embargo, cabe mencionar que también se han reportado datos de más de 90% en otras cepas de *Rhizobium* (Cunningham *et al.*, 1985; Olalde, 1986). De lo anterior se asumió que las asociaciones estudiadas en este trabajo fueron altamente efectivas y específicas.

#### Rendimiento de grano

Como lo muestra el Cuadro 8, para esta variable existieron diferencias significativas entre tratamientos y entre variedades.

Se observó una buena respuesta a la inoculación con las cepas Rj8 y Rj11 en las dos variedades. Sin embargo, fue muy superior el rendimiento obtenido con la cepa Rj11.

Por otro lado resaltó la variedad BM-2 que puede rendir más de  $700 \text{ kg ha}^{-1}$  que la variedad Davis. Fue interesante observar que si se hubiera evaluado el rendimiento de las

dos variedades únicamente con la aplicación del fertilizante nitrogenado éstas hubieran tenido rendimientos similares, lo cual confirma la mejor afinidad entre la cepa Rj11 y la variedad BM-2.

Cuadro 8. Rendimiento de grano de soya inoculada y fertilización con nitrógeno.

Tratamiento	Variedades	
	Davis <sub>1</sub> ton ha <sup>-1</sup>	BM-2 <sub>1</sub> ton ha <sup>-1</sup>
B. japonicum Rj4a	0.89d	0.43e
" " Rj6	0.30e	0.70e
" " Rj8	1.74b	2.19b
" " Rj11	2.27a	3.07a
" " Rj12	0.674d	0.64e
Testigo con nitrógeno	1.38c	1.26c
Testigo sin nitrógeno	0.98d	0.86d

\* Letras iguales indica que no existe diferencia estadística significativa ( $P = 0.05$ ).

También llamó la atención el hecho de que las plantas de la variedad BM-2 inoculadas con las cepas que no nodularon, produjeron rendimientos significativamente menores que el tratamiento testigo, lo que pudo deberse a algún efecto nocivo por parte de estas cepas. Esta gran variabilidad en respuesta también la han reportado Caldwell y Vest (1970) y Ferrera-Cerrato *et al.* (1980).

Los resultados en general indicaron la posibilidad de utilizar las variedades de soya Davis y BM-2 en la región y siempre será muy favorable inocularlas con las cepas Rj11 y Rj8.

### CONCLUSIONES

Se recomienda la inoculación, que preferentemente deberá realizarse con las cepas *Bradyrhizobium japonicum* Rj11 y Rj8 las cuales resultaron ser altamente eficientes y buenas formadoras de nódulos. Dados los resultados con las otras cepas probadas es muy recomendable evaluar siempre las cepas antes de sugerir cualquier práctica de inoculación.

Aunque las dos variedades respondieron a la inoculación, el mejor rendimiento lo produjo la variedad BM-2 bajo las condiciones edáficas y climatológicas de la región.

En el suelo de la región de Irapuato, no se presentaron cepas de *Bradyrhizobium japonicum*.

### LITERATURA CITADA

ABEL, G.H. y ERDMAN, L.W. 1984. Response of Lee soybeans to different strains of *Rhizobium japonicum*. Agr. J. 56: 423-424.

ABLETT, G.R., J.C. SCHEIHAUF y A.P. McLAREN. 1984. Effect of row width and population on soybean yield in Southwestern Ontario. Can J. Pla. Sci. 64: 9-15.

BEZDICEK, D.F., N. BOONKERD y D.F. WEBER. 1978. Comparative evaluation of *Rhizobium japonicum* strain by acetylene reduction and other methods. Legume Research 2(1): 1-10.

BROCK, D.T. 1978. Biología de los microorganismos. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España pp. 441-446.

CALDWELL, B.E. y G. VEST. 1968. Nodulation interactions between soybean genotypes and serogroups of *Rhizobium japonicum*. Crop Science 8: 680-682.

CALDWELL, B.E. y G. VEST. 1970. Effects of *Rhizobium japonicum* strains and soybeans yields. Crop Science 10: 19-21.

CUNNINGHAM, S.D., J.Y. KAPUNIK: BREWIN y D.A. PHILLIPS. 1985. Uptake hydrogenase activity determined by plasmid pRL6JI in *Rhizobium leguminosarum* does not increase symbiotic nitrogen fixation. Appl. Envir. Micro. 59: 791-794.

DANSO, K.A. y D. NANGJU. 1975. Initial studies on the Legume-*Rhizobium* symbiosis. pp. 21-22. In: Proceeding collaborators meeting grain legume improvement. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan Nigeria.

DEVINE, T.E. 1984. Genetics and breeding of nitrogen fixation. pp. 127-254. In: M. Alexander (ed). Biological Nitrogen fixation ecology, technology, and physiology. Plenum Press, New York.

FERRERA-CERRATO, R. y B.D. JALPA. 1980. Inoculación en soya (*Glycine max* L.) con diferentes cepas de *Rhizobium japonicum* en Cuetzalán, Puebla, Biótica 5: 191-197.

HARDY, R.W.F., R.C. BURNS y R.D. HOLSTEN. 1973. Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. Soil Biol. Biochem. 5: 57-81.

ISWARAN, V., K.S.B. SARMA y M. COMHAIRE. 1970. Soil fertility, legumes and *Rhizobium* efficiency. Part. I: Introduction, effect of organic matter and soil reaction. Agric. Digest. 19: 3-18.

LEMERAGAN, J.F. 1972. The soil chemical environment in relation to simbiotic nitrogen-fixation pp. 22-23. In: Proceeding of the use of isotope for study of fertilizer utilization by legume crop. Vienna, Austria.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. 1979. Microbial processes: Plasmising, technologies for developping countries. Washington. pp. 22-23.

NUTMAN, P.S. 1972. The influence of physical environmental factors on the activity of *Rhizobium* in soil and simbiosis. pp. 36-43. In: Proceedings on the use of isotopes for study of fertilizer utilization by legume crop. Vienna, Austria.

OLALDE, P.V. 1986. Comportamiento ecológico de las cepas nativas de *Rhizobium meliloti*. Tesis Doctoral ENCB-México.

RAMIREZ M., J.A. 1986. Efecto de la inoculación y fertilización (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sobre el rendimiento y fenología del cultivo de la soya (*Glycine max* L. Merrill), en el Bajío. Tesis Licenciatura. Escuela de Agronomía y Zootecnia. U. de G.

SCHUBERT, K.P. y H.J. EVANS. 1976. Hydrogen evaluation: A major factor affecting the efficienct of nitrogen fixation in nodulation symbionts. Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 73: 1207-1211.

SUMMERFIELD, F.J., P.A. HUXLEY y W. STEELE. 1974. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp). Field Crop Abstr. 27: 301-312.

TRUELSEN, A.T. y WYNDAELE. 1984. Recycling efficiency in hydrogenase uptake positive strains of *Rhizobium leguminosarum*. Plant Phys. 62: 45-50.

VEST, G., D.F. WEBER y C. SLOGER. 1973. Soybean improvement, production and uses. pp. 350-390. In: Caldwell, B.E. (ed.) Agronomy Momograph 16 Madison Wisconsin, American Society of Agronomy.

## LA SIMBIOSIS *Azolla sp*-*Anabaena azollae* COMO BIOFERTILIZANTE EN ARROZ.

The Symbiosis *Azolla sp*-*Anabaena Azollae* as Biofertilizer in Rice

Roberto Quintero Lizaola, Ronald Ferrera-Cerrato, Jorge D. Etchevers Barra y David Sotres Ramos

Laboratorio de Fijación Biológica de Nitrógeno, Sección de Microbiología, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

*Palabras clave:* *Azolla*, biofertilizante, arroz.

*Index words:* *Azolla*, biofertilizer, rice.

### RESUMEN

Los objetivos del trabajo fueron: determinar la cinética de crecimiento del helecho acuático *Azolla sp*, al aplicarle una dosis óptima fisiológica de fósforo, la interacción de ésta con la actividad de la enzima nitrogenasa y evaluar el potencial agronómico de las aplicaciones de *Azolla sp* en un cultivo de arroz (cv. Morelos A-70) en invernadero.

La tasa media relativa de crecimiento y el contenido de nitrógeno en *Azolla sp* aumentaron a medida que las cantidades de fertilizante fosfatado se incrementaron. La dosis óptima fisiológica para producción de biomasa fresca y seca fue de 80 pp2m de  $P_2O_5$ .

Con la aplicación de 16,000 pp2m de *Azolla sp* fresca al momento de la siembra, se produjeron los mayores rendimientos de materia seca y volumen radical de arroz.

### SUMMARY

The objectives of this study were to determine the effect of phosphate fertilization on the growth rate and enzymatic activity of the aquatic fern *Azolla sp* and evaluate the agronomic potential of applying *Azolla sp* to rice in the greenhouse.

The average growth rate and nitrogen content of *Azolla sp* increased in direct proportion to the amount of phosphate fertilizer applied. The optimum physiological dosage for producing fresh and dry biomass was 80 pp2m of  $P_2O_5$ .

The application of 16,000 pp2m of fresh *Azolla sp* at sowing produced the greatest dry matter yield and root volumen in rice (cv. Morelos A-70) cultivated in pots under greenhouse conditions.

### INTRODUCCION

*Azolla sp* es un helecho acuático capaz de fijar de 100 a 1564 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de nitrógeno en simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae* (FAO, 1983). Tiene un rápido crecimiento en habitats deficientes en nitrógeno, pero presenta una alta demanda de fósforo (Ferrera-Cerrato, 1980; Quintero y

Recibido 10-90.

Ferrera-Cerrato, 1986 y 1987). Este elemento es el principal limitante de su crecimiento. En condiciones óptimas, cada kilogramo de  $P_2O_5$  aplicado, permite acumular dos kg de nitrógeno en la biomasa de *Azolla* (Watanabe *et al.*, 1980).

Los microorganismos fijadores de nitrógeno, como *Anabaena azollae*, poseen un sistema multienzimático llamado nitrogenasa, el cual puede disociar las moléculas de dinitrógeno ( $N_2$ ) y reducirlas a dos moléculas de amoníaco (Van Hove *et al.*, 1982). La actividad de la nitrogenasa es afectada por la madurez de la planta y la edad de cada fronda (Hill, 1977), y fácilmente inactivada por el oxígeno (Van Hove *et al.*, 1982). La actividad de esta enzima en el microsimbionte es indicativa de su habilidad para fijar nitrógeno y se puede medir mediante ensayos de reducción de acetileno (Becking, 1979).

*Azolla* es usada como abono verde en el cultivo de arroz, especialmente en China y en Vietnam. Se ha demostrado que incrementa de manera significativa el crecimiento de este cultivo, así como el número de espigas, el contenido proteico y el rendimiento de grano y paja (Van Hove *et al.*, 1982; Singh, 1977 y 1979; Talley *et al.*, 1982). También es utilizado como alimento para pollos, patos, cerdos y peces, en preparaciones culinarias; reducción de pérdidas de agua debidas a la evaporación, control de malezas; disminución en la proliferación de mosquitos y como materia prima en la producción de metano en biodigestores (Lumpkin y Plucknett, 1982).

La posibilidad de emplear *Azolla* como fuente de nitrógeno (abono verde) ha incrementado su importancia, puesto que permitiría reducir las altas erogaciones que representa el uso de fertilizantes inorgánicos en la producción agrícola. Por tanto, los objetivos del presente trabajo fueron: determinar la cinética de crecimiento de *Azolla sp.*, al aplicarle una dosis óptima fisiológica de fósforo, determinar la interacción de esta con la actividad de la enzima nitrogenasa y evaluar el potencial agronómico de las aplicaciones de *Azolla sp* en

el cultivo de arroz (cv. Morelos A-70) en invernadero.

## MATERIALES Y METODOS

En el presente trabajo se utilizó una cepa de *Azolla sp* del *Azollatum* de la Sección de Microbiología del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

### Experimento 1. Cinética de crecimiento y reducción de acetileno en *Azolla sp.*

Se utilizaron frascos de vidrio transparentes de un litro de capacidad y 57  $cm^2$  de área como unidades experimentales, en ellos se agregaron 60 g de suelo (Typic Durandep) con 5 ppm de fósforo, fumigado con bromuro de metilo, y ochenta mililitros de agua destilada, de acuerdo a la metodología propuesta por Quintero y Ferrera-Cerrato (1987). En el transcurso del experimento se mantuvo constante el nivel de agua (80 ml) con adiciones periódicas. Los frascos así preparados, se inocularon con un gramo de *Azolla* y se distribuyeron de acuerdo a un diseño de parcelas totalmente al azar.

El diseño de tratamientos fue un factorial 4 x 6. Los factores y niveles fueron: (a) dosis de fertilizante fosfatado: 0, 40, 80 y 160  $pp2m$  de  $P_2O_5$  (aproximadamente equivalentes a kg de  $P_2O_5$  por hectárea) y (b) oportunidad de cosecha: 1, 3, 6, 9, 12 y 15 días después de establecido el experimento. Cada tratamiento se repitió dos veces.

La fertilización fosfatada se aplicó al inicio del experimento. La temperatura durante el periodo de crecimiento fluctuó entre 14 y 34°C, en tanto que la radiación solar varió de 327.1 a 612.8  $cl\ m^{-2}\ seg^{-1}$ .

\* *Azollatum* - Colección de *Azollas*.

En cada cosecha, las unidades experimentales fueron selladas herméticamente mediante una tapa de lámina, provista en el centro de un tapón de hule (del tipo empleado en frascos al vacío), a los cuales se les extrajo 10% del aire reemplazándolo por igual cantidad de acetileno comercial. Los frascos se incubaron a temperatura ambiente por 2 horas y posteriormente se tomó una muestra de 5 ml de su atmósfera, que fue inyectada a un cromatógrafo de gases VARIAN mod. 1440 para determinar la cantidad de acetileno reducido a etileno. Con estos datos se procedió a calcular la actividad de la nitrogenasa (Scholhorn y Burris, 1967; Dilworth, 1966). Después de la medición anterior, se determinó el peso de la biomasa de *Azolla* fresca y seca; el secado se realizó a 70°C durante 72 horas, en una estufa con circulación forzada de aire.

#### Experimento 2. Efecto del fósforo en el crecimiento de *Azolla sp.*

El experimento se instaló en charolas de plástico de 950 cm<sup>2</sup> de área, a las que se agregaron 1 kg de suelo (Typic Durandep), fumigado con bromuro de metilo, y 3 litros de agua destilada, la cual formaba una lámina de aproximadamente 5 cm de espesor.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, se evaluaron cuatro niveles de fertilización fosfatada: 0, 40, 80 y 160 pp2m de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La inoculación con *Azolla* se realizó de la misma forma que en el experimento 1.

La cosecha del material se realizó cuando la primera de las unidades experimentales presentó una cobertura total con el helecho; esto ocurrió a los 17 días. Se determinó el peso de la biomasa fresca y seca mediante el mismo procedimiento que en el experimento 1.

El material vegetal seco fue molido para determinar el porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Para el análisis del nitrógeno total, las muestras se sometieron a digestión semi-microkjeldahl modificada para incluir nitratos (Bremner,

1965a). La determinación de fósforo, potasio, calcio y magnesio de las muestras, se hizo en un digerido por vía húmeda, realizado con una mezcla de ácido nítrico y ácido perclórico en relación 2:1 (AOAC, 1980). La evaluación del fósforo total en el digerido se hizo colorimétricamente mediante la formación del complejo amarillo fosfovanadomolibdato (Jackson, 1970), a una longitud de onda de 470 nm. La cuantificación de calcio y magnesio se practicó en el mismo digerido mediante espectrofotometría de absorción atómica y la de potasio por fotometría de flama.

La tasa media relativa de crecimiento ( $\overline{TRC}$ ) se midió con la ecuación de Evans (Evans, 1972).

#### Experimento 3. Efecto de *Azolla sp* como abono verde y época de su aplicación en el cultivo de arroz.

El experimento se instaló en invernadero empleándose macetas de plástico. Como sustrato se utilizaron 3 kg de suelo (Typic Durandep), el cual fue secado al aire y tamizado a través de una malla de alambre de 5 mm de abertura. La planta indicadora fue arroz cv. Morelos A-70.

El diseño de tratamientos fue un factorial 4 x 3, donde los factores y niveles fueron: (a) oportunidad de aplicación: 0, 10, 20 y 30 días antes de la siembra y (b) dosis de *Azolla sp*: 0, 8,000 y 16,000 pp2m de *Azolla sp* fresca. La aplicación se hizo localizadamente en una capa de 2 a 5 mm de espesor, ubicada a 5 cm de profundidad. En calidad de testigo se tuvieron cinco tratamientos que recibieron 0, 60, 120, 180 y 240 pp2m de nitrógeno como urea. La mitad del fertilizante nitrogenado se aplicó a la siembra y la otra mitad 30 días después.

Antes de iniciar el experimento, todos los tratamientos fueron fertilizados basalmente con 120 pp2m de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato simple de calcio y 90 pp2m de K<sub>2</sub>O como sulfato de potasio.

Las macetas se incubaron a temperatura ambiente antes de sembrar el arroz.

El suelo de las unidades experimentales se inundó con agua de la llave al momento de la aplicación de *Azolla sp.*

Todas las macetas se sembraron en la misma fecha depositando 20 semillas pregerminadas en la superficie del suelo, y se ralearon a 12 plántulas por maceta 6 días después.

Las macetas se mantuvieron inundadas durante 53 días hasta el momento de la cosecha.

Las plantas de arroz se cosecharon antes que alcanzaran la fase reproductiva, cortándolas al ras del suelo. El follaje cosechado se secó a 70°C durante 72 horas para determinar su rendimiento en peso seco. Las muestras se pasaron por un molino provisto de una malla 40 y posteriormente se determinó su porcentaje de nitrógeno mediante el método semi-microkjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965a). El sistema radical de las plantas se extrajo, de una de las repeticiones de cada tratamiento, mediante la aplicación de agua a presión. Las raíces y la parte aérea de la planta se secaron en estufa a 70°C durante 72 horas para estimar su peso seco.

En las dos repeticiones restantes se tomaron muestras de suelo, que se secaron al aire y en ellas se determinó el contenido de nitrógeno nítrico y amoniacal. Esta determinación se hizo por el procedimiento recomendado por Bremner (1965b).

La eficiencia relativa fue calculada con la relación siguiente:

$$ER = \frac{Na \text{ trat.} - Na \text{ test.}}{N \text{ apl.}}$$

donde:

ER = Eficiencia Relativa (%).

Na trat. = Nitrógeno absorbido por el tratamiento.

Na test. = Nitrógeno absorbido por el testigo.

N apl. = Nitrógeno aplicado.

Los datos experimentales fueron sometidos a análisis de varianza y las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), utilizándose para tal efecto el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 1. Cinética de crecimiento y reducción de acetileno en *Azolla sp.*

En el Cuadro 1 se presentan las medias de biomasa seca, fresca y actividad de la nitrogenasa. Únicamente la primera variable mostró incrementos conforme aumentó la dosis de fosfato aplicado, pero sólo con el nivel de 160 pp2m hubo diferencias con respecto al testigo (0 pp2m). Las diferencias en producción de biomasa fresca entre los tratamientos fueron menores que los de biomasa seca, debido seguramente a los distintos porcentajes de agua que contenían.

La cinética de acumulación de biomasa seca y fresca se presenta en las Figuras 1 y 2, las cuales representan una respuesta logística de forma similar a las reportadas por Ashton (1974).

Los tratamientos con fósforo no afectaron la actividad de la nitrogenasa, ya que no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, la media de esta variable en el tratamiento testigo fue superior a la de los tratamientos con fósforo. Esto posiblemente se debió a que la *Azolla* presenta un consumo excesivo y es capaz de almacenar casi seis veces el fósforo requerido para su crecimiento normal y para la fijación de nitrógeno (Lumpkin y Pluncknett, 1982).

Cuadro 1. Efecto de cuatro niveles de fertilización fosfatada sobre el peso seco, peso fresco y actividad de la nitrogenasa de *Azolla* en diferentes épocas de cosecha.

Tratamiento	Días de cosecha						Media
	1	3	6	9	12	15	
Peso seco (g frasco <sup>-1</sup> )							
pp2m de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>							
0	0.07	0.07	0.06	0.19	0.20	0.26	0.139b <sup>1</sup>
40	0.06	0.06	0.14	0.23	0.22	0.24	0.158ab
80	0.05	0.05	0.07	0.19	0.20	0.32	0.145ab
160	0.04	0.07	0.13	0.24	0.28	0.34	0.182a
Peso fresco (g frasco <sup>-1</sup> )							
0	2.00	3.09	3.23	4.72	8.58	7.55	4.86a <sup>1</sup>
40	1.13	1.89	3.78	5.62	7.10	6.07	4.26a
80	1.35	1.85	2.32	3.92	6.20	8.89	4.09a
160	1.21	1.94	3.31	6.37	7.62	8.63	4.84a
Actividad de la nitrogenasa (nmoles de C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> h <sup>-1</sup> x 10 <sup>3</sup> )							
0	16.1	1.60	1.40	9.70	10.3	2.70	7.0a <sup>1</sup>
40	5.1	0.80	2.50	6.50	12.3	0.80	4.7a
80	3.5	3.30	2.90	6.60	10.2	4.40	5.2a
160	9.4	1.30	1.90	5.00	5.9	4.30	4.6a

1/ Los valores que tienen la(s) letra(s) igual(es) en la misma columna no son significativamente diferentes entre si ( $\alpha=0.05$ ). Los promedios que tienen la misma letra, en cada variable, son estadísticamente iguales ( $\alpha=0.05$ ).

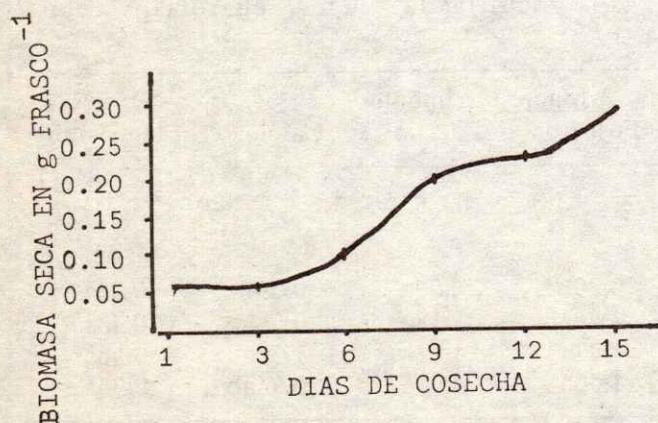


Figura 1. Curva acumulativa de biomasa de *Azolla* sp cultivada en frascos.

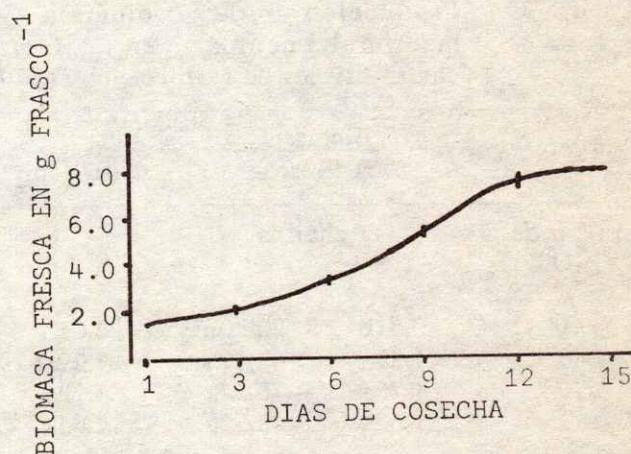


Figura 2. Curva acumulativa de biomasa fresca *Azolla* sp cultivada en frascos.

## 2. Efecto del fósforo en el crecimiento de *Azolla sp.*

La tasa relativa de crecimiento varió entre 0.169 y 0.257 g g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Cuadro 2). Esta tasa fue mayor a medida que la dosis de fertilizante fosfatado se incrementaba, lo cual resulta en un menor tiempo de duplicación de *Azolla sp.*

Cuadro 2. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el tiempo de doblaje y la tasa relativa de crecimiento de *Azolla sp.*

Tratamiento	Tasa relativa media	Duplicación
pp2m de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	g g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	días
0	0.169	4.1
40	0.239	2.9
80	0.251	2.8
160	0.257	2.7

El efecto del fertilizante en el tratamiento con 160 pp2m de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fue similar al reportado para *Azolla caroliniana* en el campo Hangzhou, China, por Lumpkin *et al.* (1982).

En relación al testigo, la aplicación de 40, 80 y 160 pp2m de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> incrementó significativamente la producción de biomasa

fresca, seca y el contenido de nitrógeno de *Azolla sp.* Para los contenidos de fósforo y calcio, la fertilización fosfatada en sus tres niveles produjo diferencias estadísticas con relación al testigo, pero no se detectaron diferencias entre si. En contraste, los porcentajes de potasio y magnesio no difirieron significativamente entre ninguno de los tratamientos (Cuadro 3).

Los resultados con los tratamientos testigo, fertilizados con urea se presentan en el cuadro 4. La producción de biomasa seca en general, aumentó con la aplicación de dosis crecientes de urea. El porcentaje de nitrógeno aumentó conforme se incrementó la cantidad de urea aplicada, con un máximo en el tratamiento de 180 pp2m de nitrógeno. La cantidad de nitrógeno absorbido aumentó conforme la aplicación de urea fue mayor sin presentar un óptimo.

## 3. Efecto de *Azolla sp.*, como abono verde y época de su aplicación en el cultivo de arroz.

En general, la producción de biomasa seca del arroz presentó una tendencia a aumentar con la aplicación de niveles crecientes de *Azolla sp.*, pero las diferencias no fueron significativas en la mayoría de los casos

Cuadro 3. Producción de biomasa seca, fresca y concentración de macronutrientes en *Azolla sp.* cultivada en charolas, con cuatro niveles de fertilización fosfatada.

pp2m de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biomasa		Nitrógeno	Macronutriente			
	Seca	Fresca		Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
	g charola <sup>-1</sup>			%			
0	0.61b <sup>1</sup>	20.20b	2.67b	0.29b	6.00a	0.59b	0.33a
40	1.39a	62.17a	3.29ab	1.48a	5.58a	0.98ab	0.48a
80	1.76a	70.57a	3.79a	1.87a	5.33a	1.34a	0.56a
160	1.66a	68.52a	4.04a	1.56a	4.08a	0.94ab	0.36a

1/ Los valores que tienen la(s) letra(s) en la misma columna no son significativamente diferentes entre si ( $\alpha=0.05$ ).

Cuadro 4. Efecto de la urea sobre algunas variables de crecimiento del arroz (cv. Morelos A-70).

Tratamiento	Parte aérea			Raíz	
	B. seca	Nit.	Nit. abs.	Volumen	B. seca
pp2m de N	g charola <sup>-1</sup>	%	mg maceta <sup>-1</sup>	cm <sup>3</sup> maceta <sup>-1</sup>	g maceta <sup>-1</sup>
0	4.22c	1.10d	46.67 <sup>1</sup> c	53	3.27
60	5.77c	1.44c	83.00bc	112	7.89
120	7.79b	1.46bc	114.33b	110	5.20
180	8.99ab	1.82a	163.67a	88	5.83
240	10.59a	1.74ab	183.67a	142	13.53

1/ Los valores que tienen la(s) letra(s) en la misma columna no son significativamente diferentes entre si (a=0.05).

Cuadro 5. Prueba de Tukey para el efecto del biofertilizante *Azolla sp* aplicado 0, 10, 20 y 30 días antes de la siembra sobre algunas variables de crecimiento del arroz (cv. Morelos A-70).

Biofertilizante aplicado	Planta			Suelo			
	Biomasa seca	Nitrógeno	Nitrógeno absorbido	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
miles de pp2m	g maceta	%	mg maceta <sup>-1</sup>	----- ppm -----			
0 días							
0	4.34 a	1.16	ab	50	ab	8.2 ab 15.8 a <sup>1)</sup>	24.0
8	4.41 a	1.07	b	47	ab	7.5 ab 13.0 a	20.5
16	4.71 a	1.21	ab	57	a	14.0 ab 18.8 a	32.8
10 días							
0	2.81 b	1.35	ab	29	bc	11.3 ab 24.1 a	35.4
8	2.99 ab	1.25	ab	37	abc	12.5 ab 28.3 a	40.8
16	3.62 ab	1.41	a	52	ab	0.0 b 0.0 a	0.0
20 días							
0	2.17 ab	1.19	ab	32	bc	14.3 ab 30.2 a	44.5
8	2.76 ab	1.27	ab	34	abc	9.7 ab 22.3 a	32.0
16	2.74 ab	1.23	ab	33	bc	11.6 ab 27.8 a	39.4
30 días							
0	1.92 b	1.12	ab	21	c	25.6 a 33.9 a	59.5
8	1.99 b	1.08	b	22	c	13.3 ab 26.9 a	40.2
16	1.87 b	1.03	b	19	c	20.5 a 23.9 a	44.4

1) Los valores que tienen la (s) letra (s) igual (es) en la misma columna no son significativamente diferentes entre sí (α = 0.05).

(Cuadro 5). Los rendimientos absolutos fueron en función del momento de incorporación del helecho, observándose las producciones máximas cuando *Azolla* se aplicó al momento de la siembra.

El tratamiento con 16,000 pp2m del biofertilizante, aplicado al momento de la siembra, fue equivalente a agregar 49 pp2m de nitrógeno en forma de Urea, siendo superiores a los valores reportados por Talley *et al.* (1982).

Un análisis de la concentración de nitrógeno inorgánico ( $N-NH_4 + N-NO_3$ ) al suelo en los tratamientos sin incorporación del helecho, señala que éste aumentó a medida que el tiempo de inundación se incrementó. Las concentraciones de nitrógeno inorgánico fueron 24.0, 34.4, 44.5 y 59.5 ppm en los tratamientos "O" con 53, 63, 73 y 83 días de incubación. Esto significa que la incubación anaeróbica liberó nitrógeno de la materia orgánica inmovilizada en este suelo. La presencia de nitratos en el análisis se debe a que las muestras fueron secadas al aire después de colectadas, pero teóricamente se sabe que bajo condiciones de inundación su concentración es muy escasa o nula.

La concentración de nitrógeno inorgánico en los tratamientos con 8,000 y 16,000 pp2m del helecho agregado, no difirieron entre sí, por lo que se consideró para el análisis subsecuente el promedio de ambos. En general estos promedios tampoco difirieron de los tratamientos "O", sin embargo el nitrógeno inorgánico en las últimas tendió a ser más bajo. Los incrementos de este elemento, promedio de los tratamientos 8,000 + 16,000 pp2m, respecto de los tratamientos "O" fueron 2.7, <1, <1, <1 ppm de nitrógeno inorgánico cuando el suelo se mantuvo inundado por 53, 63, 73 y 83 días respectivamente. Esta situación es congruente con la cantidad de nitrógeno absorbido por las plantas.

El máximo volumen radical se presentó al agregar 8,000 pp2m del biofertilizante al momento de la siembra; mientras que la biomasa radical seca fue mayor al aplicar 16,000 pp2m

de *Azolla* 20 días antes de la siembra, resultado superior al obtenido con 120 pp2m de nitrógeno aplicado en forma de urea (Figura 3).

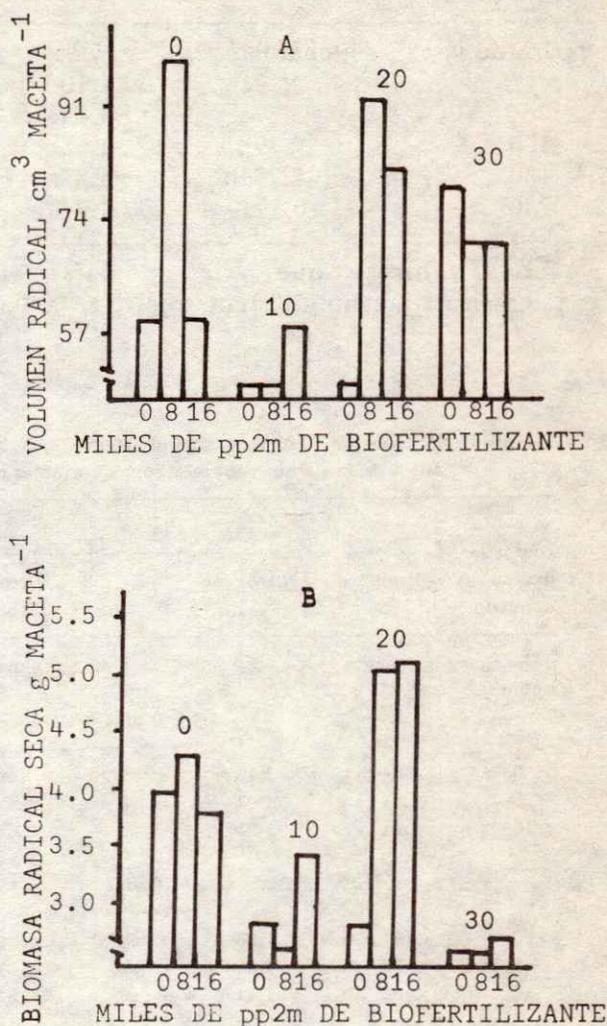


Figura 3. Efecto del biofertilizante *Azolla* sp, aplicado 0, 10, 20 y 30 días antes de la siembra, en el volumen y biomasa seca radical de arroz (cv. Morelos A-70).

La eficiencia relativa del biofertilizante varió entre 1.11 y 79.21%. Los valores mayores se obtuvieron con 8,000 pp2m y a medida que la aplicación fue hecha al momento de la siembra o cercana a ella (Cuadro 6).

Cuadro 6. Eficiencia relativa del biofertilizante *Azolla sp* aplicado al arroz (cv. Morelos A-70) a los 0, 10, 20 y 30 días antes de la siembra.

Aplicación antes de la siembra	Eficiencia rela- tiva al aplicar	Eficiencia rela- tiva al aplicar
	8,000 pp2m	16,000 pp2m
Días	%	%
0	-	39.63
10	79.21	1.11
20	26.87	8.39
30	3.66	-

### CONCLUSIONES

La tasa media relativa de crecimiento se incrementó a medida que las dosis de fertilización fosfatada fueron mayores.

La dosis óptima fisiológica para producción de biomasa seca y fresca fue de 80 pp2m de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Los contenidos de nitrógeno aumentaron a medida que las cantidades de fertilizante fosfatado se incrementaron.

Los mayores rendimientos de materia seca y volumen radical del arroz (cv. Morelos A-70) se produjeron con la aplicación de 16,000 pp2m de *Azolla sp* fresca, al momento de la siembra.

### AGRADECIMIENTOS

Agradezco la participación de Lorenzo Viana Monsalvo, Martín Godínez Herrera y Manuel Solano Díaz.

### LITERATURA CITADA

AOAC. 1980. Official methods of analysis of official analytical chemists; 15th edition. Association of official analytical chemists. Washington, D.C. USA.

ASHTON, P.J. 1974. Effect of some environmental factors on the growth of *Azolla filiculoides* Lam. In: Orange River Progress Report. Institute for Environmental Science. Univ. O.F.S. Bloemfontein, South Africa. pp. 124-138.

BECKING, J.H. 1979. Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production. In: Nitrogen and Rice. Int. Rice Res. Inst. Los Baños, Laguna, Philippines. pp. 345-373.

BREMNER. 1965a. Total nitrogen. In: C.A. Black (ed). Methods of soils analysis. Part 2. Amer. Soc. of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

BREMNER. 1965b. Inorganic forms of nitrogen. In: C.A. Black (ed). Methods of soils analysis. Part 2. Amer. Soc. of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

DILWORTH, M.J. 1966. Acetylene reduction by nitrogen fixing preparation from *Clostridium pasteurianum*. Biochem. Biophys. Acta 127: 285-294.

EVANS, G.C. 1972. The quantitative analysis of plant growth. Studies in ecology. University of Carolina. 1: 189-217.

FAO. 1983. El reciclaje de materia orgánica en la agricultura de América Latina. Boletín de Suelos No. 51. Roma, Italia.

FERRERA-CERRATO, R. 1980. Estudio preliminar de *Azolla sp*. Un helecho acuático con potencial agronómico en el trópico húmedo mexicano. Rev. Lat. Amer. Microbiol. 22: 171-174.

HILL, D. J. 1977. The role of *Anabaena* in the *Azolla-anabaena* symbiosis. New. Phytol. 78: 611-616.

JACKSON, M.L. 1970. Análisis químicos de suelos. Trad. por Beltrán M., J. Editorial Omega, S.A. Barcelona, España.

LUMPKIN, T. y D.L. PLUCKNETT. 1982. *Azolla* as a green manure: use and management in crop production. Westview Tropical Agriculture Series No. 5. Westview Press. Boulder Colorado, USA. 230 p.

LUMPKIN, T.A., L. SHOU-XIN, DZU SHOU-XIAN y MAO MEIFEI. 1982. The effect of six *Azolla* selections under three management practices on the yield, of paddy rice. In: Graham, P.H., J. Halliday, P.J. Dart, S. Harris (eds). Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture: Proc. of an International Workshop, March 9-13, 1981. CIAT. Cali, Colombia.

QUINTERO L., R. y R. FERRERA-CERRATO. 1986. Fijación de nitrógeno por diferentes especies de *Azolla* en la República Mexicana. Resúmenes del XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 26-29 de Noviembre. Manzanillo, Colima, México. pp. 61-62.

QUINTERO L., R. y R. FERRERA-CERRATO. 1987. Estudio de diferentes especies de *Azolla* de la República Mexicana. In: SONAFIBIN. Sociedad Nacional de la Fijación Biológica de Nitrógeno-México. Memorias y Resúmenes del I Congreso Nacional. 25-27 de Febrero. Xalapa, Veracruz, México.

SAS INSTITUTE. 1985. SAS use's guide: Statistics. Versión 5.08. Raleigh, North Carolina. USA.

SCHOLHORN, R. y R. H. BURRIS. 1967. Acetylene as a competitive inhibitor of  $N_2$  fixation. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. 58: 213-216.

SINGH, P.K. 1977. Effect of *Azolla* on the yield of paddy with and without application of N fertilizer Curr. Sci. 46: 642-644.

SINGH, P.K. 1979. Use of *Azolla* in rice production in India. In: International Rice Research Institute. Nitrogen and Rice. Los Baños, Philippines.

TALLEY, S.N., E. LIM y D.W. RAINS. 1982. Application of *Azolla* in crop production. In: Loins, J.M., R.C. Valentine, D.A. Phillips, D.W. Rains and R.C. Huffaker. Genetic engineering of symbiotic nitrogen. Plenum Press. New York. pp 363-384.

VAN HOVE, C., H.G. DIARA y P. GODARD. 1982. *Azolla* in West Africa. Project. WARDA. Belgique.

WATANABE, I., N.S. BERJA y D.C. DEL ROSARIO. 1980. Growth of *Azolla* in paddy field as by phosphorus fertilizer. Soil Sci. Plant. Nutr. 26: 301-307.

**EFFECTO DE LA LABRANZA TRADICIONAL Y LA LABRANZA DE CONSERVACION  
PARA EL CONTROL DE LA EROSION EN EL CULTIVO DE MAIZ  
(*Zea mays* L.) BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL**

Effects of Traditional and Conservation Tillage on  
Erosion Control in Rainfed Corn (*Zea mays* L.)

L.M. Martínez R. y L.M. Lasso M.

Laboratorio Natural Las Joyas - U de G.  
Niños Héroes #53 C.P. 48740

Departamento de Suelos - UAAAN  
Buenavista, Saltillo, Coah.

*Palabras clave:* Erosión, Escurrimiento,  
Labranza.

*Index words:* Erosión, runoff, tillage.

**RESUMEN**

Las precipitaciones de zonas áridas, caracterizadas por su alta intensidad, ocasionan pérdidas fuertes de suelo por erosión. Aunado a esto, encontramos que el uso irracional de las labores de preparación coadyuvan acelerando la degradación del suelo.

Esta investigación se realizó durante los ciclos agrícolas de 1985 y 1986 con el cultivo de maíz en la localidad del Encino, Municipio de Saltillo, Coah. Los tratamientos establecidos fueron: Barbecho, barbecho y rastreo, doble rastreo, rastreo y no labranza. Las variables evaluadas fueron: pérdida de suelo, escurrimiento y lavado de nutrimentos.

Los resultados obtenidos indican que las pérdidas de suelo se incrementan en forma proporcional a la intensidad de la labranza.

Recibido 5-90.

En el aspecto de escurrimiento el comportamiento fue diferente, prevaleciendo la importancia de la rugosidad del terreno en la reducción de los escurrimientos y sobresaliendo el tratamiento de barbecho. Se comprobó que las pérdidas de suelo no son proporcionales al escurrimiento.

Considerando todas las variables analizadas (erosión, escurrimiento y lavado de nutrimentos) la mejor respuesta se obtuvo del tratamiento de barbecho.

**SUMMARY**

Arid zone rainfall, characterized by high intensity, promotes soil erosion. Irrational tillage practices, in concert with high intensity rains help to accelerate soil degradation. The present study is based on two cycles of corn grown near Saltillo, Coahuila, Mexico. Five tillages systems were employed: ploughing, ploughing and disking, double disking, single disking and no tillage. Soil erosion, runoff and nutrient leaching were measured. The results indicate that soil erosion increased with the degree of tillage. Runoff was not proportional to soil erosion

but was influenced by plot roughness. Nutrients lost due to leaching, in order of importance, were calcium, bicarbonates, chloride; sulphates and carbonates. Ploughing alone appears to have minor effects on soil erosion, runoff and nutrient leaching.

### INTRODUCCION

De los 196 millones de hectáreas con que cuenta el territorio nacional, el 52.13% lo forman las zonas áridas, el 30.56% es tierra semiárida y el 17.31% corresponde a zonas húmedas (Sánchez, 1986). Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por temporales deficientes para la explotación agrícola, además de que presentan un incremento paulatino en la degradación de los suelos por efecto de la erosión, tanto en forma hídrica como eólica.

Por otra parte, el manejo inadecuado del recurso suelo, dado principalmente por las labores de preparación, constituye un factor importante que coadyuva a esta degradación. En nuestro país se utiliza una gran diversidad de sistemas de labranza, que van desde el uso de la coa en la región sur y sureste, hasta la utilización en forma irracional, de un alto grado de mecanización en la zona norte.

El control de la erosión esta dado principalmente por dos factores: (a) la presencia de una cubierta vegetal; y (b) la no pulverización de los agregados, que disminuye la pérdida del suelo por agua o viento. Por una parte, no siempre es posible mantener una cubierta vegetal en el terreno, debido a que en estas zonas los subproductos agrícolas son utilizados para la alimentación del ganado; y por otra, la pulverización se ve incrementada directamente por las prácticas de labranza.

La labranza convencional se ha venido justificando según Phillips y Young (1979) y Kocher *et al.* (1983) por las siguientes razones:

- a) Preparar una buena cama de semilla.
- b) Mejorar las condiciones físicas del suelo.

- c) Romper capas duras y permitir mejor infiltración de agua.
- d) Ayudar el desarrollo normal de las raíces.
- e) Incorporación de fertilizantes, cal y residuos de cosecha.
- f) Control de malezas.
- g) Ayuda a controlar insectos y enfermedades.

El efecto benéfico de la maquinaria en los procesos mencionados es relativo. Principalmente ayuda a romper capas duras y a incrementar la infiltración, sin embargo, esto es temporal, ya que el suelo se compacta y requiere cada vez más de la utilización de maquinaria, formándose un círculo vicioso.

El paso continuo de maquinaria ocasiona un incremento de la compactación, destrucción de los agregados y disminución de la retención de la humedad, lo que provoca una alteración de las propiedades físicas del suelo (Blevins y Thomas, 1980; Griffith *et al.*, 1986).

Wishmeier (1973), indica que la erosión es un proceso de separación y transporte de suelo, incrementado por la lluvia y el escurrimiento. Complementaria a la lluvia y al escurrimiento superficial, la labranza excesiva participa al romper los agregados del suelo, reducir la rugosidad del terreno y ocasionar el sellado superficial y formación de costras que incrementan el escurrimiento y con ello el riesgo de erosión.

Es importante señalar que las labores de preparación de un determinado suelo deben ir acordes a las condiciones edáficas y climáticas de cada región, lo que obliga a dar un tratamiento específico en cada caso de acuerdo a sus necesidades y a las del cultivo.

La labranza de conservación, que de acuerdo con el Resource Conservation Glossary es cualquier sistema que reduce pérdidas de suelo y agua en relación con la tradicional y seguido de una forma de no invertir en el laboreo que retiene cantidades de residuos de cosecha protectoras de la superficie, es una buena alternativa para lograr que la labranza vaya acorde con las características del suelo y cultivo.

Esta investigación, basada en el estudio de los efectos directos de la labranza en el proceso erosivo, plantea los siguientes objetivos:

- a) demostrar la eficiencia de la labranza de conservación en el control de la erosión.
- b) disminuir el grado de erosión.

### MATERIALES Y METODOS

La investigación fue desarrollada en el rancho el Encino, en el Municipio de Saltillo, Coah., siendo sus coordenadas geográficas 25°17'44" latitud norte y 101°6'14" longitud oeste, con una altura de 1920 msnm. El clima según la clasificación de Köppen modificado por García es BS, hx', corresponde a un semiseco-semicalido con lluvia escasa todo el año, precipitación invernal mayor de 18% y verano caliente. La clasificación del suelo es un Haplargid típico; migajón arenoso, carbonatado, mesico, serie la Encantada.

El trabajo de investigación fue realizado durante los ciclos agrícolas primavera-verano 1985 y 1986, estableciéndose bajo un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, y un tamaño de parcela de 2500 m<sup>2</sup> por tratamiento. Los tratamientos evaluados fueron: Labranza cero (LC), rastro (R), doble rastro (DR), barbecho (B) y barbecho y rastro (BR).

Las variables evaluadas durante la investigación fueron las siguientes: Sedimentos totales, lavado de nutrientes (Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub> y HCO<sub>3</sub>), precipitación y escurrimiento superficial.

En cada parcela se instalaron lotes de escurrimiento de 2 x 10 m. El área del lote se delimitó con bordos de tierra compactados, en tanto que para captar el escurrimiento se utilizaron depósitos de 200 l, los cuales fueron enterrados hasta quedar a nivel del terreno. Los muestreos se realizaron después de cada evento de lluvia que producía escurrimiento, se determinó el volumen captado

y se tomó una muestra para realizar las determinaciones fisicoquímicas.

Las labores posteriores a la preparación del suelo inherentes al cultivo de maíz fueron similares para todos los tratamientos.

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

a) Período del ciclo agrícola primavera-verano 1985.

Durante este ciclo, la precipitación pluvial fue sumamente escasa y con una distribución muy irregular, presentándose un total de 217.5 mm en el período de junio-noviembre y en el que el 68% de la lluvia se presentó en sólo 5 eventos.

Se realizaron en este ciclo seis muestreos, detallándose en el Cuadro 1 los valores promedio de pérdidas de suelo por evento de lluvia. El análisis estadístico no presentó diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, en la Figura 1 es notoria una menor erosión para los tratamientos de barbecho y no labranza.

Debido a que éste fue el primer año del experimento y de acuerdo con la literatura consultada, la recuperación de las propiedades físicas de un suelo sometido a labranza intensiva durante varios años, puede tardar un tiempo considerable, por lo que se recomienda que las investigaciones sobre laboreo se realicen durante largos períodos de tiempo.

La información obtenida para escurrimientos superficiales totales se presenta en el Cuadro 2, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos de labranza. Utilizando el método de contrastes ortogonales, se observaron diferencias significativas entre la interacción barbecho y rastro (BR, NL vs B, R); además se presentó una alta diferencia significativa entre R o B contra D o BR, es decir hay diferencia entre labranza mínima y labranza tradicional. Realizando una prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%, encontramos los

Cuadro 1. Pérdidas de suelo por erosión, 1985.

Fecha	Precipitación (mm)	Pérdida de suelo (kg/ha)				
		B	BR	DR	R	NL
26-junio	26.0	282.98	508.58	759.80	499.23	135.22
13-agosto	12.0	627.34	381.20	384.80	234.84	231.13
17-agosto	8.5	223.50	396.88	320.0	384.28	434.13
11-septiembre	28.5	51.09	147.72	111.59	147.78	68.32
15-octubre	22.5	466.26	830.98	868.98	1045.89	608.84
21-octubre	23.0	265.56	120.03	171.29	51.99	97.01
Total:		1861.73	2385.39	2615.86	2313.99	1575.45

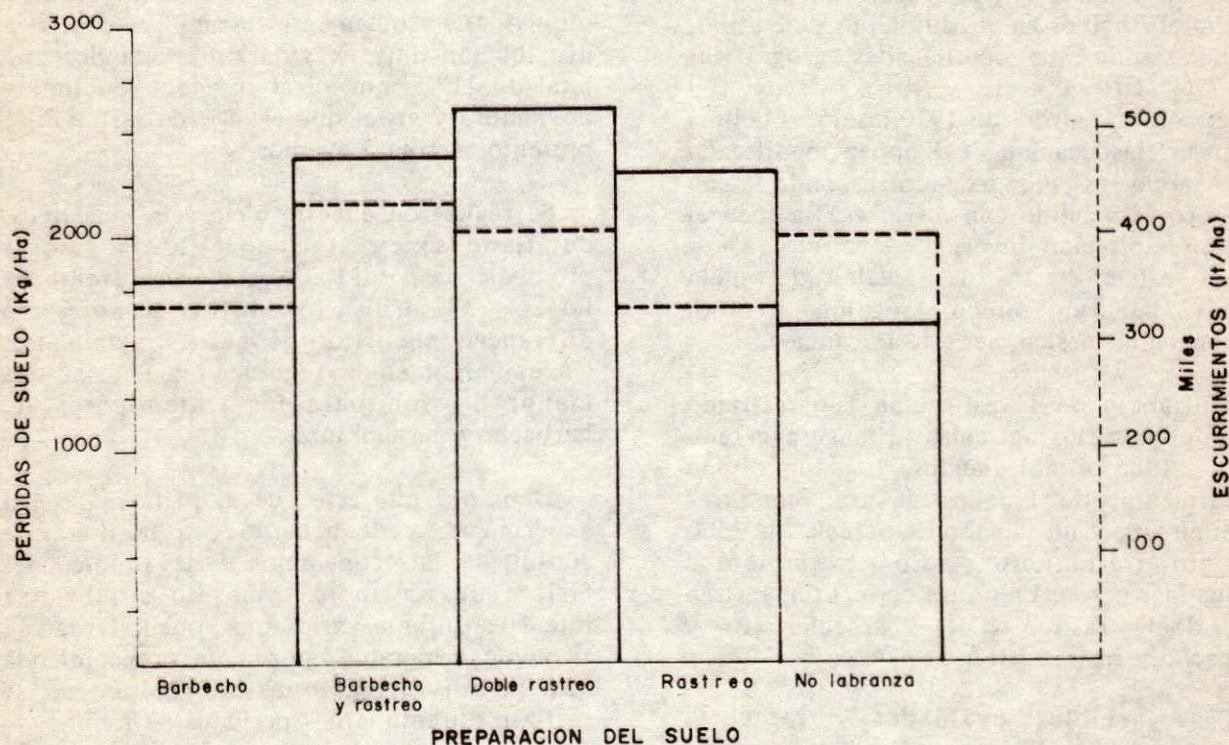


Figura 1. Ciclo 1985.

Cuadro 2. Escurrimiento totales, 1985.

Fecha	Escurrimiento (l/ha)				
	B	BR	DR	R	NL
26-junio	76,833	77,500	76,000	77,166	66,166
14-agosto	50,001	74,500	75,000	41,500	38,500
17-agosto	54,000	69,500	69,500	61,133	69,250
11-septiembre	53,750	76,500	71,833	64,500	79,166
15-octubre	46,250	68,666	56,250	56,000	61,833
21-octubre	63,333	70,833	60,500	67,666	77,125

tratamientos obtenidos con base en medias de menor a mayor escurrimiento, B, R, NL, DR y BR (Figura 1).

Para el lavado de nutrimentos se observó que a mayor pérdida de suelo mayor pérdida de estos. Las mayores pérdidas se presentaron para el tratamiento de BR con cantidades de 3.46, 1.474, 1.33, 1.13, 0.655 y 0.327 kg/ha para Calcio, Bicarbonatos, Cloro, Magnesio, Sulfatos y Carbonatos respectivamente (Cuadro 3).

#### b) Ciclo agrícola primavera-verano 1986.

La precipitación fue mayor para este ciclo (366 mm), sin embargo, sólo se evaluaron cuatro eventos. Se observaron diferencias significativas entre barbechar y no barbechar ( $P=0.10$ ); entre rastrear y no rastrear (R, BR

vs B, NL) entre labrar y no labrar (NL vs B, BR, R, DR) ( $P=0.10$ ) y por último entre rastreo o barbecho comparado con doble rastreo y barbecho y rastreo ( $P=0.05$ ). De acuerdo con la prueba de Duncan se encuentra de menor a mayor pérdida de suelo por erosión, NL, B, R, DR y BR respectivamente (Figura 2). Con el análisis de los resultados obtenidos para este año, ya podemos definir un comportamiento o un efecto más directo de la labranza sobre la erosión.

Aún cuando la precipitación fue mayor, el volumen escurrido fue menor en comparación con el ciclo anterior (Cuadro 4), esto se puede deber a que las lluvias fueron de menor intensidad; en términos generales en cuanto a este parámetro fue similar al presentado en 1985, despegando ligeramente el barbecho, sin embargo, la diferencia no fue suficiente para crear diferencias significativas.

Cuadro 3. Lavado de nutrientes (kg/ha), 1985.

Tratamiento	Calcio	Magnesio	Clofo	Sulfatos	Carbonatos	Bicarbonatos
Barbecho	1.745	1.115	0.4363	0.7364	0.2265	1.2152
Barb. y rastreo	3.46	1.13	1.33	0.665	0.327	1.474
Doble rastreo	3.19	0.965	0.56	0.58	0.32	1.44
Rastreo	2.51	1.16	0.505	0.488	0.2445	1.31
No labranza	2.13	0.74	0.51	0.78	0.257	1.21

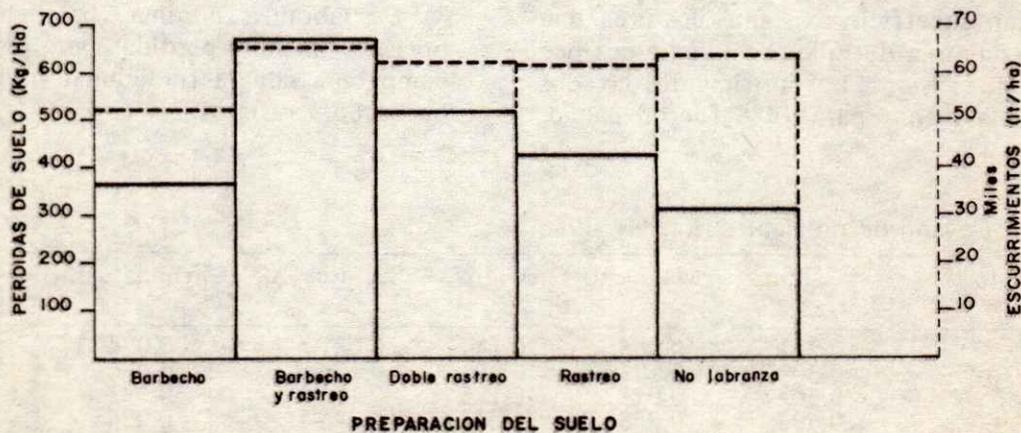


Figura 2. Ciclo 1986.

Cuadro 4. Ecurrimientos totales, 1986.

Fecha	Ecurrimiento (lt/ha)				
	B	BR	DR	R	NL
13-julio	10,583	20,253	19,678	19,400	20,416
18-julio	15,715	17,332	15,300	16,591	16,923
27-agosto	11,066	12,750	11,420	10,837	11,256
4-septiembre	15,730	15,638	15,650	15,039	14,862
Total:	52,039	65,973	63,048	61,867	63,557

Generalmente se espera que a mayor escurrimiento mayor pérdida de suelo, sin embargo, no siempre se cumple esto. Los resultados obtenidos muestran que en los tratamientos de no labranza para ambos ciclos, las pérdidas de suelo fueron menores aunque en el escurrimiento estos tratamientos presentaron valores más altos. Esto se explica simplemente que a mayor rugosidad menor escurrimiento, como en el caso de barbecho, seguido del rastreo y no labranza, para terminar con los de mayor preparación y por lo tanto mayor pulverización y menor rugosidad (DR y BR).

En el lavado de nutrientes las cantidades durante este ciclo fueron menores que las del ciclo anterior, tal como se detalla en el Cuadro 5.

El análisis de nutrientes es bien importante ya que nos clarifica la idea sobre la cantidad de pérdida de éstos y aunque parezcan cantidades pequeñas, multiplicados por la gran superficie existente nos crea una pérdida paulatina de miles de kilogramos por este tipo de erosión. Los nutrientes lavados de mayo a menor para 1986 fueron calcio,

Cuadro 5. Lavado de nutrientes (kg/ha), 1986.

Tratamiento	Calcio	Magnesio	Cloro	Sulfatos	Carbonatos	Bicarbonatos
Barbecho	0.271	0.068	0.144	0.087	0.024	0.224
Bar. y rastreo	0.302	0.193	0.20	0.136	0.036	0.273
Doble rastreo	0.302	0.0157	0.175	0.115	0.027	0.246
Rastreo	0.404	0.288	0.297	0.246	0.024	0.388
No labranza	0.234	0.127	0.144	0.084	0.024	0.184

bicarbonato, cloro, sulfatos y carbonatos. Las cantidades pérdidas de calcio en ambos ciclos coinciden con las encontradas por Figueroa (1975) para suelos cultivados, aunque no coincide para los otros nutrimentos. Esto va a estar con base en el tipo de compuesto químico que hay en el suelo y a su grado de solubilidad.

La información obtenida en ambos ciclos varió en cuanto a precipitación (cantidad y distribución) y si tratamos de analizar ambos ciclos en forma conjunta, el comportamiento general puede estar dominado por el efecto particular de alguno de ellos. Sin embargo, los resultados obtenidos en ambos ciclos nos dan una idea de la cantidad de suelo que se pierde anualmente por efecto de erosión hídrica.

### CONCLUSIONES

- 1) De acuerdo con la información obtenida, principalmente en el segundo año, se marca una tendencia al aumento de las pérdidas de suelo con el incremento del paso de labranza.
- 2) Los escurrimientos no presentaron una relación directa con el incremento del laboreo. La rugosidad fue el aspecto más importante que definió las pérdidas de agua por escorrentía.
- 3) La labranza mínima (barbecho, rastreo) presenta menor pérdida por escurrimiento comparada con la tradicional (doble rastreo, barbecho y rastreo).

4) Desde el punto de vista nutricional, la pérdida de nutrimentos en mayor cuantía como calcio y bicarbonatos, no es muy importante por su abundancia en la zona.

5) Considerando todos los aspectos investigados (erosión, escurrimiento y lavado de nutrimentos) el tratamiento que presentó mejor respuesta fue el barbecho.

#### LITERATURA CITADA

**BLEVINS, R.L. y G.W. THOMAS.** 1980. Soil adaptability for no-tillage. *In: No tillage research: research, reports and reviews.* University of Kentucky. Chapter II: 6-23.

**FIGUEROA S., B.** 1975. Pérdidas de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

**GRIFFITH, D.R., J.V. MANNERING y J.E. BOX.** 1986. Soil and moisture management with reduce tillage. *In: No-tillage and surface agriculture: The tillage revolution.* Ed. John Wiled and Sons, Inc.

**KOCHER F., A.D. VIOLIE y A.F. PALMER.** 1983. Sistemas de labranza de conservación del agua en el suelo. Simposium "La Sequía y su Impacto en la Agricultura". Universidad Autónoma de Chapingo. 21-22 noviembre.

**PHILLIPS, S.H. y H.M. YOUNG.** 1979. Agricultura sin laboreo. Labranza cero. Ed. Hemisferio Sur. 224 p.

**SANCHEZ C., I.** 1986. Cosecha de agua de lluvia "in situ" una alternativa para zonas de escaso y errático régimen pluvial. Seminarios Técnicos. INIA-CIAN. Vol. 3(8): 175-198.

**WISHMEIER, W.H.** 1973. Conservation tillage to control water erosion. *In: Conservation tillage. The proceedings of a National Conference.* SSCA.

## DESERTIFICACION EN EL MUNICIPIO DE CUAUHTEMOC, COLIMA

Desertification in Cuauhtemoc, Colima, Mexico

Manuel Sandoval Villa y Juan W. Estrada B.W.

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

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

**Palabras clave:** Desertificación, Degradación del suelo, Procesos de desertificación, Estado actual, Riesgo y velocidad de desertificación.

**Index words:** Desertification, Soil degradation, Desertification processes, Rate and inherent risk of desertification.

### RESUMEN

Los resultados de este estudio muestran que el municipio actualmente está desertificado severamente en un 40% y muy severamente en un 60% de su superficie. El riesgo de desertificación es muy severo en un 77% y severo en un 23%. La velocidad de cambio es muy severa en toda el área.

Los procesos dominantes actuales de degradación son: erosión hídrica, lixiviación de bases y disminución del humus del suelo. Los procesos que afectan la velocidad de cambio y el riesgo son la erosión hídrica y la disminución del humus del suelo. El trabajo presenta recomendaciones de uso y manejo del suelo en cuanto a manejo de cultivos,

encalado, aplicación de estiércol y obras de conservación de suelos y aguas.

### SUMMARY

Evaluation and analysis of desertification were made in Cuauhtemoc county, Colima, Mexico, as a basis for recommending land use and management practices. The area lies between 19°12' and 19°30' north latitude and between 103°27' and 103°42' west longitude. The climate varies from ETH, C(W2), A(c) to AW2 (Garcia, 1973). Elevations above sea level vary from 490 to 3000 m. The geologic material is igneous and the soils are humic cambisols, haplic feozems, vertisols and regosols. Two methods were used: "The Provisional Methodology for Assessment and the Mapping of Desertification (FAO, 1983)" and "Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment (FAO, 1980)".

The results indicate that desertification in the county is severe in 60% and very severe in 40% of the area. The inherent risk is very severe in 77% and severe in 23%, and the rate of desertification is severe in all the area. The dominant processes of degradation at present are water erosion, leaching of bases and the destruction of organic matter. The processes that affect the rate and inherent

Recibido 2-89.

risk of desertification are water erosion and the destruction of organic matter. Recommendations on crop management, liming, and the use of manures, as well as soil and water conservation measures, are presented.

## INTRODUCCION

La desertificación es la expresión general de los procesos económicos y sociales, así como de los naturales e inducidos, que destruyen el equilibrio del suelo, la vegetación, el aire y el agua, o de otra forma, es la pérdida de la productividad potencial de la tierra.

En este trabajo se analizó el estado actual, velocidad de cambio y riesgo de desertificación en el municipio de Cuauhtémoc, Colima.

El municipio se localiza al noroeste del estado en las estribaciones del volcán de Colima (Figura 1) y presenta en gran parte laderas con fuertes pendientes que las hacen susceptibles a la erosión hídrica.

El monocultivo de caña de azúcar, implementado desde la época de la colonia, favorece el empobrecimiento del suelo por la gran cantidad de nutrientes que extrae el cultivo. El problema se agrava al quemarse el rastrojo de la caña.

Los bosques en el municipio han sido explotados por la fábrica de papel Atenquique, S.A., provocando una reducción de las áreas forestales.

En los últimos años, el índice de crecimiento de la población municipal es mayor que el promedio nacional, lo cual crea una presión sobre los recursos naturales.

La desertificación es un fenómeno complejo, que abarca aspectos económicos, sociales, naturales e inducidos que deterioran el equilibrio del ecosistema (suelo, vegetación, aire, agua y fauna). Esto trae como consecuencia la disminución o destrucción del

potencial biológico de la tierra, la degradación de las condiciones de vida y expansión de desiertos o zonas improductivas (FAO, 1983).

## LOCALIZACION GEOGRAFICA



Figura 1. Localización geográfica del municipio de Cuauhtémoc, Colima.

Siete son los procesos responsables de la desertificación clasificados, con base en el impacto que causan en la productividad de la tierra, en primarios y secundarios. Los primeros son: erosión eólica, erosión hídrica, degradación de la cubierta vegetal y salinización. Los procesos secundarios son: reducción de la materia orgánica del suelo, encostramiento y compactación, y la acumulación de sustancias tóxicas en suelos y agua. Los primarios tienen impacto muy grande sobre la productividad de la tierra.

La erosión hídrica y erosión eólica degradan el suelo ya que remueven sedimentos de éste. La pérdida del material fino superficial de un suelo, es decir el complejo más rico, varía dependiendo de la intensidad de ésta.

La degradación de la cubierta vegetal que es causada por sobrepastoreo y deforestación, incrementa la erosión y reduce la productividad biológica general. Finalmente, la salinidad de suelos y aguas, reduce considerablemente la producción de las plantas y provoca el abandono de los terrenos.

La reducción de la materia orgánica resulta en una degradación de la estructura del suelo, que ocasiona pérdidas de agua y nutrientes esenciales para plantas y microorganismos; el suelo queda expuesto a la acción de la precipitación y la acción de los fertilizantes disminuye, al ser poco retenidos por el complejo del suelo.

El encostramiento y compactación del suelo es común en pastizales y áreas agrícolas de temporal, formándose una capa impermeable superficial que afecta la estructura y aumenta el escurrimiento.

El grado de desarrollo industrial está relacionado con la presencia de sustancias tóxicas, las cuales contaminan los cultivos y deprimen la producción vegetal (Boyadgiev, 1981).

Durante 1981 y 1982 se probó, a nivel mundial, una metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertificación, después de haberse aplicado en varios países del mundo se procedió a publicarla. Algunos de los procesos que se estudiaron y que resultaron útiles a las condiciones de México fueron, según Anaya *et al.* (1982): la degradación de la cubierta vegetal, erosión hídrica, encostramiento y compactación y reducción de la materia orgánica del suelo.

La metodología empleada para evaluar el estado actual de degradación de la cubierta vegetal utiliza el porcentaje de plantas perennes, biomasa en kg de materia seca por mm de lluvia, además de otros criterios. Para el riesgo se usan el incremento de tierras áridas al cultivo, tierras cubiertas por pastos (ha/año), incremento de la población humana

(%/año), índice climático para la degradación biológica e incendios forestales.

El estado actual de erosión hídrica se determina con densidad de cárcavas y canalillos por km transversal, superficie afectada por cárcavas (%), tipo de erosión, depósitos de suelo en cm, secuencia de horizontes, espesor del suelo (A + B) en % del espesor original, porcentaje de pérdidas de producción comparado con suelos no erosionados y decremento de la materia orgánica comparada con la de un suelo no afectado. El riesgo toma en cuenta la pendiente, precipitación (mm), agresividad de la lluvia, erodabilidad del suelo y topografía.

El estado actual y riesgo de compactación y encostramiento del suelo se pueden evaluar utilizando la acumulación y cementación de calcio (forma y profundidad), de yeso y fierro.

La reducción de la materia orgánica del suelo se considera ligera cuando es de 90 a 100% del nivel máximo natural, moderada de 70 a 90, severa de 30 a 70 y muy severa menos de 30% (FAO, 1983).

Los procesos de degradación física, química y biológica son considerados importantes para el estudio de la degradación de los suelos por desertificación.

La degradación física es la pérdida de la permeabilidad del suelo; resultado del clima, erodabilidad del suelo y clase de pendiente (FAO, 1980).

La lixiviación de bases del suelo se denomina degradación química y es resultado del clima, textura, tipo de arcillas del suelo y la pendiente de los terrenos (FAO, 1980).

La degradación biológica es la mineralización o pérdida de humus del suelo, resulta del clima, textura del suelo y porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  del suelo (FAO, 1980).

Con el objeto de obtener recomendaciones a nivel parcelario se realizó una evaluación y

análisis de la desertificación del municipio de Cuauhtémoc, Colima, México. Este municipio se localiza en las coordenadas 19°12'-19°30' latitud norte y 103°27'-103°42' longitud oeste y su clima varía de ETH, C(W2), A(c) hasta AW2 (García, 1973), debido a que sus altitudes que van de 490 a 3000 msnm. La geología es ígnea extrusiva y de sedimentos clásticos del terciario. Los suelos más comunes son Cambisoles húmicos, Feozem háplico, Vertisoles y Regosoles. Para el estudio se aplicó la metodología de FAO de Evaluación y Cartografía de la Desertificación de 1983 y Evaluación de la Degradación del Suelo de 1980 junto con el Levantamiento Fisiográfico (Ortiz y Cuanalo, 1978).

### MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, dividiéndose en dos etapas, la primera consistió en el recorrido de campo, muestreo de suelos y obtención de información estadística; la segunda fase consistió en procesar la información, hacer análisis en laboratorio de las muestras, obtención de índices de desertificación y análisis integral de resultados.

Los materiales utilizados, en orden de aparición fueron: mapa y memoria de facetas del municipio de Cuauhtémoc, fotografías aéreas del municipio de 1959 y 1974, y las cartas topográficas que forman el municipio a escala 1: 50 000.

Se aplicó la metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos (FAO, 1980) y la metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertificación (FAO, 1983) al levantamiento fisiográfico (Ortiz y Cuanalo, 1978).

A continuación se describen los procesos que se evaluaron en el municipio, desglosándolos en su estado actual, riesgo y velocidad de cambio.

### Degradación de la Vegetación (X).

Esta se evaluó en su estado actual usando la biomasa en kg de materia seca/mm de lluvia y con el porcentaje de cobertura de plantas perennes.

La velocidad de cambio se determinó por medio de la tendencia de la línea de pastos, tendencia de la línea forestal en %/año y por el giro de la producción de caña de azúcar en t/ha/año que es el principal cultivo de la región.

Incremento (%/año) de la población humana, incremento en la producción de ganado (%/año) e incremento de terrenos de riego y temporal (%/año) sirvieron para definir el riesgo.

### Degradación Física (F).

Para el estado actual se determinó la profundidad media de capas endurecidas o costras, en centímetros.

La velocidad de cambio es evaluada con la disminución anual de la permeabilidad del suelo en cm/h, dada por la siguiente ecuación:

$$F = \left( \frac{\sum_{i=1}^{12} p^2}{P} \right) (S) (T)$$

donde:

p = precipitación media mensual (mm)

P = precipitación media anual (mm)

S = erodabilidad del suelo

T = tipo de pendiente

La susceptibilidad del suelo al encostramiento resulta en el riesgo de degradación física que se conoce con la correspondiente ecuación:

$$IE = 1.52 Z_f - 0.75 Z_c/C + 10(m.o.)$$

donde:

IE = índice de encostramiento

Zf = porcentaje limo fino (2-20 micras)  
 Zc = porcentaje de limo grueso (20-50 micras)  
 C = porcentaje de arcilla (<2 micras)  
 m.o.= porcentaje de materia orgánica

### Degradación Química (Q).

El estado actual se evaluó con base en el pH del suelo y el óptimo teórico para la caña de azúcar.

La ecuación paramétrica de lixiviación anual de bases define el riesgo.

$$Q = \left( \sum_{1}^{12} p - (Ev) (0.8) \right) (S) (T)$$

donde:

Q = degradación química  
 p = precipitación media mensual (mm)  
 Ev = evaporación (mm)  
 S = tipo de arcilla  
 T = clase de pendiente

### Degradación Biológica (B).

Tanto riesgo como velocidad se pueden evaluar con la ecuación:

$$B = \left( \frac{\sum_{1}^{12} e^{0.1065 t} p / (EV) (0.8)}{12} \right) (S) (CO_3)$$

donde:

B = degradación biológica  
 t = temperatura media mensual (°C)  
 S = textura del suelo  
 CO<sub>3</sub> = contenido de carbonatos (%)  
 p = precipitación media mensual (mm)

### Erosión Hídrica (H).

Para el estado actual se observan la magnitud y forma de la erosión. Para riesgo y

velocidad de cambio se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier, 1976).

$$A = (R) (K) (LS) (C) (P)$$

donde:

A = pérdida de suelo en t/ha/año  
 R = agresividad de la lluvia  
 K = erodabilidad del suelo  
 LS = grado y longitud de la pendiente  
 C = manejo del cultivo  
 P = prácticas de conservación del suelo

En riesgo se usan los tres primeros componentes y para velocidad todos los que aparecen en la ecuación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los procesos evaluados, desglosados en su estado actual, riesgo y velocidad de desertificación para cada una de las facetas que conforman el municipio. En el Cuadro 1 se pueden determinar fácilmente el proceso y aspecto de degradación más crítico (estado actual, velocidad de cambio y riesgo) para cada faceta.

Esta forma de presentar los resultados (Cuadro 1), da inmediatamente una idea del efecto que ha causado cada proceso responsable de desertificación. Esto porque el primer número y letra indican el proceso dominante y después de la diagonal son procesos que están subordinados, pero que son importantes para generar una estrategia de control.

En la Figura 2 aparece la fisiografía del municipio en estudio como resultado del levantamiento fisiográfico realizado. Existen laderas muy pronunciadas hasta planicies al sur del municipio.

En el Cuadro 2 se describen las características de cada faceta y el área que

Cuadro 1. Resultados de estado actual, riesgo y velocidad de desertificación, mostrando el proceso más crítico.

Faceta	Estado actual de desertificación	Riesgo de desertificación	Velocidad de desertificación
71	4H/2QX1F	4BH/1QF	4B/3H1F
72	3QH/1FX	3B/3X2H1QF	3B/1HF
73	3QF/1HX	4B/3H1Q1F	4F/1HF
74	3Q/2FH1F	4F/2QF1F	4B/1FH
91	3Q/1HFX	4B/3QX1H1F	4B/1FH
92	4X/FHX	3BH/1QF	3B/1H1F
93	4X/1Q2F1H	4B/3HX1QF	4B/1H1F
94	4Q/1HFX	3BX/2H1QF	3B/1HF
121	3QFH/2X	4H/3B1QF	3B/2H1F
122	3Q/2X1FH	3B/1QFH	3B/1HF
241	3X/2QX1F	4B/3H2Q1F	4B/2H1F
242	4Q/3Q1FH	4B/2QH1F	4B/1HF
243	3Q/2FH1X	4B/3H1QF	4B/2H1F
101	3Q/1FX1H	4B/2QH1F	4B/1HF
102	3Q/2F1HX	4B/3H1H1QF	4B/1HF
61	4H/3Q2F1X	4BH/1QF	4B/3H1F
62	3Q/2FX1H	4B/2QH1F	4B/1HF
63	4H/3Q2FX	4BH/1QF	4B/1F
64	3QH/2F	4B/3H2Q1F	4B/2H1F

Procesos

Q = Degradación química

F = Degradación física

Clases de desertificación

1 = Ligera

2 = Moderada

B = Degradación biológica

H = Erosión hídrica

3 = Severa

4 = Muy severa

Cuadro 2. Características de las facetas fisiográficas que conforman el municipio de Cuauhtemoc, Colima.

Sistema terrestre	Faceta	Superficie ha	Porcentaje del total	Geoforma	Pendiente %
7	71	4419.87	10.92	Barrancos	8 - 40
	72	2933.36	7.24	Ladera suave	5 - 7
	73	4877.76	12.05	Ladera pronunciada	5 - 17
9	74	4080.77	10.08	Ladera muy pronunciada	5 - 25
	91	1160.93	2.87	Laderas	1 - 3
	92	3570.02	8.82	Barrancos	12 - 15
	93	2393.74	5.91	Lomerios	3 - 5
12	94	991.40	2.45	Valle aluvial	11 a 28
	121	982.80	2.43	Mesetas alargadas	1 a 2
24	122	1383.91	3.43	Planicie	5 - 7
	241	1478.50	3.65	Barrancos	5 - 6
10	242	1943.33	4.87	Planicie	10 - 14
	243	1791.46	4.42	Lomerio suave	6 - 10
6	101	944.10	2.33	Barrancos	2 - 8
	102	2821.87	6.97	Planicies	> 50
6	61	1528.87	3.78	Ladera muy pronunciada	5 - 10
	62	60.20	0.15	Zona de arrastre	> 80
	63	163.40	0.40	Montículos aislados	3 - 12
	64	1961.00	4.84	Zona de acumulación de material volcánico	
Total		40489.29	100		

FISIOGRAFIA DEL MUNICIPIO DE CUAUHEMOC, COLIMA

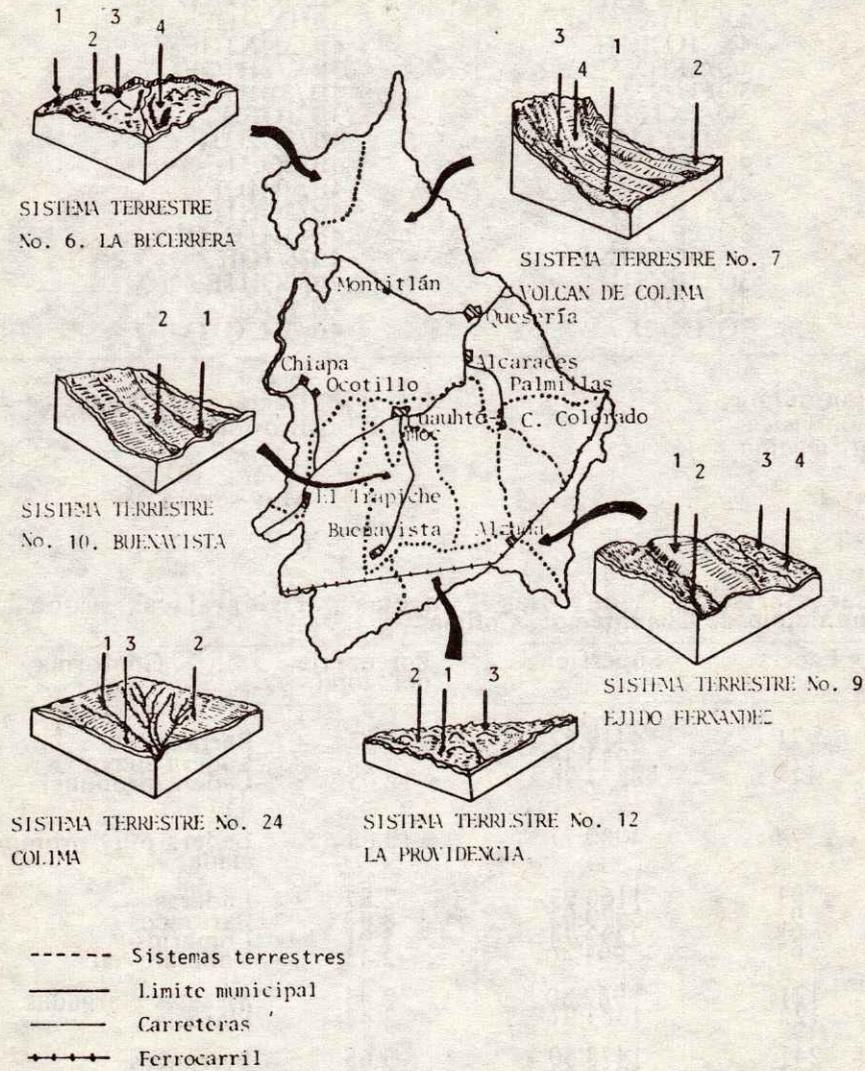


Figura 2. Fisiografía del municipio de Cuauhtémoc, Colima.

Cuadro 3. Recomendaciones de materia orgánica,  $\text{CaCO}_3$  y obras de conservación del suelo.

Faceta	Cultivos establecidos	Estiércol (t/ha/año)	Cal <sup>1)</sup> (t/ha/año)	Obras de conservación del suelo
71, 92, 101, 241	Barrancos	---	---	ETHPCA
61-64	Montaña	---	---	R
72	Maíz	11	11	SC y CF
73	Caña	29	10	SC y B
74	Caña	66	13	SC y B
94	Caña	16	24	SC
243	Caña	14	18	SC y CF
102	Caña	24	10	SC y CF
121	Pasto	11	10	CF

1) Carbonato de calcio para llevar a pH igual a 6.8.

ETHPCA = Estudio topográfico e hidrológico para establecer presas de control de azolves.

SC = Surcado al contorno.

SC y CF = Surcado al contorno y cultivo en fajas

SC y B = Surcado al contorno y bordos

R = Reforestación

ocupan. Estos datos son relevantes para conocer la magnitud de los procesos estudiados.

#### Estado Actual de Desertificación.

El 39.88% de la superficie del municipio presenta efectos de tipo muy severo y de este porcentaje el 15.83% corresponde a facetas de uso agrícola con caña de azúcar y maíz (93, 94, 242 y 102), limitadas por la erosión hídrica, degradación química y vegetal. En estas facetas ésto se debe a que la cubierta vegetal fue removida para establecer cultivos como la caña de azúcar que es uno de los cultivos que más bases extrae del suelo, en

las que se siembra maíz la erosión hídrica es más elevada a causa de la menor cobertura comparada con la de la caña.

La principal limitante de las facetas 71 (barrancos) y 63 (montículos) es la erosión hídrica, provocada por su fuerte pendiente. El 60% restante tiene limitaciones de tipo severo, observándose que la degradación química es el proceso más importante. Lo cual parece ser consecuencia de la forma relativa en que se hizo la evaluación del estado actual de la degradación química ya que se tomó como base el pH del suelo relacionándolo con un supuesto pH óptimo de 6.8 (González *et al.*, 1974) para caña de azúcar (cultivo más importante en la región) reportado en

literatura. Después siguen la deforestación y erosión hídrica lo cual se explica porque la mayoría de los terrenos están incorporados a la agricultura.

### Riesgo de Desertificación

Más del 77% de la superficie del municipio presenta riesgo de desertificación muy severo, cubriendo casi en su totalidad las áreas agrícolas, debido en su mayor parte al alto porcentaje de mineralización del humus y erosión hídrica en menor grado. Comparando este dato con lo observado en campo tenemos que decir que el resultado es sólo un vaticinio de lo que puede pasar por ejemplo si dejamos el suelo sin cubierta vegetal y por ende sin un aporte de materia orgánica al suelo.

El resto de la superficie del municipio (23%) presenta riesgo severo de desertificación también debido al alto porcentaje anual de disminución del humus, principalmente. Esto indica que sería muy poca la superficie que resistiría las condiciones más críticas (suelos desprotegidos) (FAO, 1980).

### Velocidad de Desertificación.

La velocidad de desertificación es similar al riesgo, esto es causado por el hecho de que el riesgo de degradación biológica, que es el factor más limitante, también se ha utilizado para estimar la velocidad de desertificación; existe menos información para este tópico, pero la erosión hídrica podría ser un buen parámetro para en caso de que no se incluya la degradación biológica en este apartado.

Como se puede ver en el Cuadro 1, no fue posible evaluar todos los aspectos de cada uno de los procesos que se estudiaron, debido a la falta de información, ya que es una fuerte limitante para el estudio de la desertificación en México.

Lo anterior indica que es necesario adicionar:  $\text{CaCO}_3$  al suelo para elevar el pH, materia orgánica para recuperar el humus que se pierde y obras de conservación del suelo para evitar la pérdida de éste por erosión.

En el Cuadro 3 se muestran las recomendaciones a nivel de faceta, obtenidas a partir del análisis de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier, 1976), tabla de necesidades de encalado para suelos cañeros del IMPA (González *et al.*, 1974) y por el coeficiente isohúmico de Henin, citado por Gros, 1980.

### CONCLUSIONES

La metodología utilizada permite detectar los procesos de desertificación más limitantes y la estrategia que podemos seguir para su control. Este es un trabajo que integra dos metodologías de la FAO junto con un levantamiento fisiográfico y determinaciones del laboratorio pero aún falta incluir en él estudios de agroclimatología y productividad.

Las necesidades económicas y sociales provocan la expansión de las fronteras de la agricultura de temporal, riego y la ganadería y cuando esto sucede en porcentajes elevados ocasionan la degradación de la cubierta vegetativa.

Es necesario definir criterios de selección de parámetros al aplicar la metodología provisional para la evaluación y cartografía de la desertificación de FAO, 1983, a las condiciones de México.

### LITERATURA CITADA

ANAYA, G.M., C.A. ORTIZ S. y J.W. ESTRADA B. 1982. Aplicación de la metodología para la evaluación de la desertificación en tres áreas de México. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología. Chapingo, México.

**BOYADGIEV, G.T.** 1981. Assessment and mapping of desertification. Soil Resources Management and Conservation Service. pp. 10-20.

**FAO.** 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación del suelo. Roma, Italia, 86 p.

**FAO.** 1983. Provisional methodology for assessment and mapping of desertification. Rome, Italy. 74 p.

**GARCIA, E.** 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México.

**GONZALEZ, G.A., B. ORTIZ, V. y C. PASCUAL O.** 1974. Zozonado y maduración de la caña de azúcar. CNIA. Serie Divulgación Técnica del IMPA. Libro No. 6, México, D.F. pp. 59-60.

**GROS, A.** 1980. Abonos. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 119-122.

**ORTIZ, S.C.A., y E. CUANALO DE LA C.** 1978. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras. Colegio de Postgraduados. Rama de Suelos. Chapingo, México.

**WISCHMEIER, W.N.** 1976. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. J. Soil Water Conserv. 3(1): 5-9.

DIVISION II

Las dos vías de asimilación del nitrógeno en soya y otras leguminosas.

GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ y  
JUAN LUIS TIRADO TORRES

59

Desarrollo de normas DRIS para nogal pecanero en la Comarca Lagunera.

MA. DEL CONSUELO MEDINA M.

69

Evaluación en campo de *Bradyrhizobium japonicum* en dos variedades de soya (*Glycine max* L.).

A. MA. JIMENEZ J.,  
V. OLALDE-PORTUGAL y  
PEÑA-CABRIALES

79

La simbiosis *Azolla sp-Anabaena azollae* como biofertilizante en arroz.

ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
RONALD FERRERA-CERRATO,  
JORGE D. ETCHEVERS BARRA y  
DAVID SOTRES RAMOS

87

DIVISION III

**E**fecto de la labranza tradicional y la labranza de conservación para el control de la erosión el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de temporal.

L.M.MARTINEZ R. y L.M. LASSO M.

97

Desertificación en el municipio de Cuauhtémoc, Colima.

MANUEL SANDOVAL VILLA y  
JUAN W. ESTRADA B.W.

104