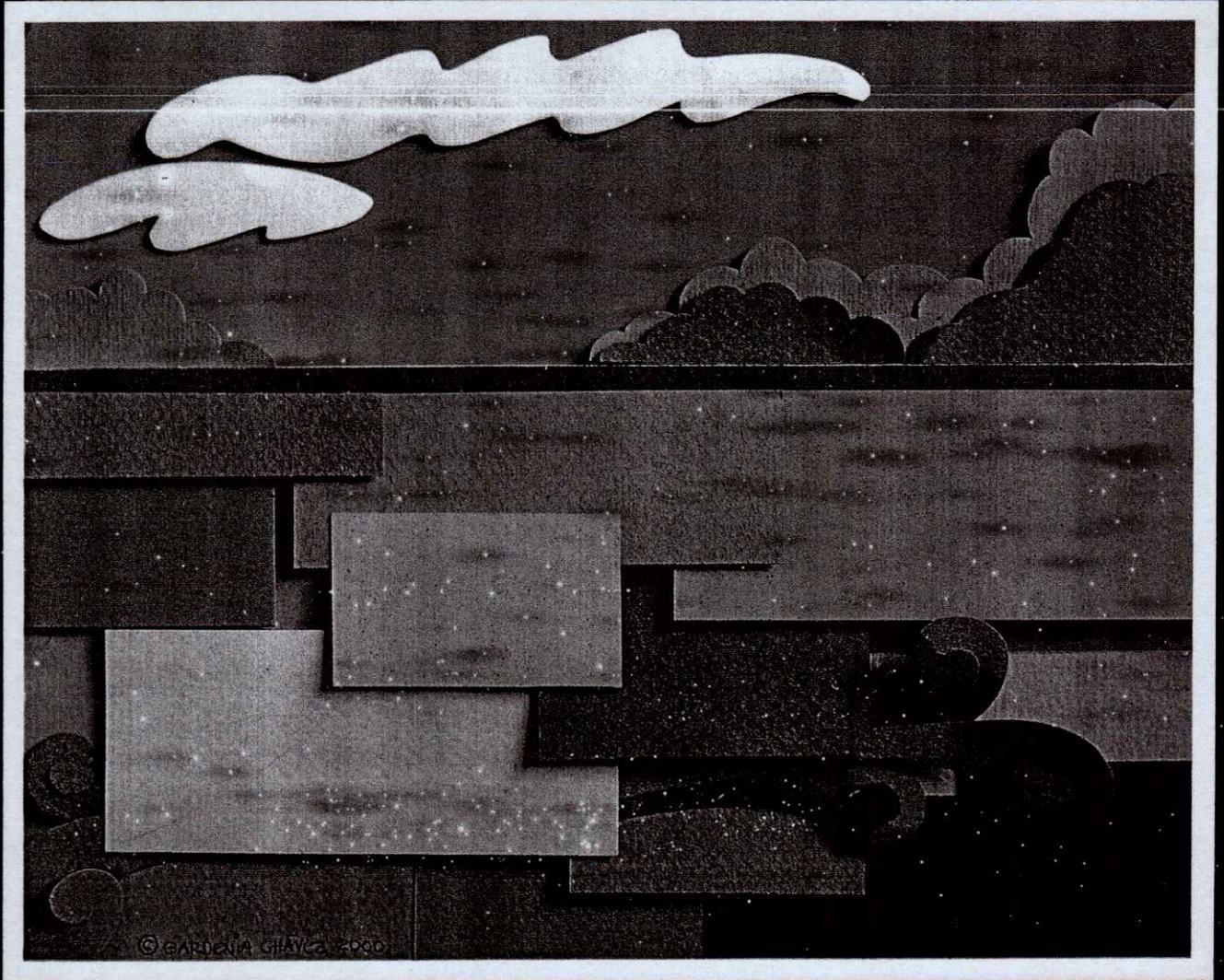


ISSN 0187-5779

# TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 1999 • VOLUMEN 17 • NUMERO 3



Órgano Científico  
de la Sociedad Mexicana  
de la Ciencia del Suelo A.C.

# TERRA

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

### MESA DIRECTIVA 1997-1999

Presidente

Vicepresidente

Secretario General

Tesorero

Secretario Técnico

Secretario de Relaciones Públicas

Secretario de Eventos Nacionales

e Internacionales

Vocal

Vocal

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

M.C. José Cisneros Domínguez

Dr. Prometeo Sánchez García

Dr. Fernando de León González

Dra. Edna Álvarez Sánchez

M.C. Ricardo Torres Cossío

Dr. Francisco Gavi Reyes

Biól. Rogelio Oliver Guadarrama

M.C. Gaspar Romero Hernández

EDITOR EN JEFE

EDITOR ADJUNTO

EDITORES TÉCNICOS

EDITOR DE ESTILO

Dr. Andrés Aguilar Santelises

Dr. Javier Z. Castellanos

Dr. Gabriel Alcántar González

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

Dr. Juan José Peña Cabriales

Dr. Xavier X. Uvalle Bueno

Dra. Edna Álvarez Sánchez

M.C. Jorge Alvarado López

## 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

TERRA registro en trámite.

Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.  
Julio - Septiembre de 1999 Volumen 17 Número 3

ISSN 0187 - 5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total de esta revista, citándola como fuente de información. Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA a:  
Editor de la Revista TERRA. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.  
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México, México.

**Oficinas:** Edificio del Departamento de Suelos  
Universidad Autónoma Chapingo  
56230 Chapingo, Estado de México.

**Teléfono:** +01(5) 954 60 24 **Fax:** +01(5) 954 80 76

**e-mail:** smcs@taurus1.chapingo.mx

### EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

Ina Aalmers de Aguilar  
Sofía Blancas Cando  
Ricarda Torres Estrada  
Gardenia Chávez Peña

Diseño de portada

### EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

Dr. Manuel Anaya Garduño  
Dr. Jesús Caballero Mellado  
Dr. Lenom J. Cajuste  
Dr. Ronald Ferrera Cerrato  
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval  
M.C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz  
Dr. Reggie J. Laird  
Dr. Angel Martínez Garza  
Dr. Roberto Núñez Escobar  
Dr. José Luis Oropeza Mota  
Dr. Carlos Ortiz Solorio  
Dr. Alejandro Velázquez Martínez  
Dr. Enrique Palacios Vélez  
Dr. Oscar L. Palacios Vélez  
Dr. Benjamín V. Peña Olvera  
Dr. Antonio Turrent Fernández

### EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

Dr. Eduardo Besoain M.	Chile
Dr. Winfried E. H. Blum	Austria
Dr. Elmer Bornemisza	Costa Rica
Dr. Luis Alfredo de León	Colombia
Dr. Hari Eswaran	E.U.A.
Dr. Anthony Fischer	Australia
Dr. Juan F. Gallardo Lancho	España
Dr. Renato Grez Z.	Chile
Dr. Alberto Hernández	Cuba
Dr. José M. Hernández Moreno	España
Dr. Eric S. Jensen	Dinamarca
Dr. Walter Luzio Leighton	Chile
Dr. John T. Moraghan	E.U.A.
Dr. Héctor J. M. Morrás	Argentina
Dr. Christian Prat	Francia
Dr. Parker F. Pratt	E.U.A.
Dr. Paul Quantin	Francia
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Carlos Roquero	España
Dr. Karl Stahr	Alemania
Dr. Bernardo Van Raij	Brasil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brasil

# TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 1999 • VOLUMEN 17 • NUMERO 3

## DIVISION II

- 175 Fertigación orgánica: Investigación y transferencia.  
*Carlos Olguín Palacios*
- 179 Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas.  
*A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato*
- 193 Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas.  
*Vicente Arturo Velasco Velasco*
- 201 Alternativas de manejo de las enfermedades de las plantas.  
*E. Zavaleta-Mejía*
- 209 Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos.  
*Jorge D. Etchevers Barra*
- 221 Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía.  
*Alfredo Lara Herrera*
- 231 Utilización de sustratos en viveros.  
*J. Narciso Pastor Sáez*
- 237 Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación.  
*Leonardo Tijerina Chávez*
- 247 Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos.  
*Antonio Trinidad Santos y Diana Aguilar Manjarrez*
- 257 Manejo de la fertilización foliar en frutales.  
*Carol J. Lovatt*

265 Generación y transferencia de tecnología en el INIFAP, para el desarrollo de la agricultura mexicana.

*Rodrigo Aveldaño S., Alfredo Tapia N. y Alejandro Espinosa C.*

271 Enzimas-algas: Posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos.

*Benito Canales López*

## PRESENTACION

Este número especial de la revista Terra, órgano oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, contiene 12 trabajos que fueron presentados como conferencias invitadas durante el primer simposio nacional sobre nutrición de cultivos, que se celebró en la ciudad de Querétaro, Qro. del 20 al 23 de septiembre de 1998, en la unidad de congresos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey de esa ciudad.

La preparación de este número se llevó a cabo mediante un arbitraje, por pares, de cada contribución y posteriormente el trabajo editorial fue realizado por un comité, nombrado *ex-profeso*, lo que asegura que todos los artículos presentados en este número cumplen con las normas técnicas y editoriales -de forma y de fondo- que son las aceptadas en la revista Terra.

Los trabajos que se presentan tratan temas de vanguardia relacionados invariablemente con la Nutrición de Cultivos, como: Diagnóstico Nutrimental, Fertilización Foliar, Fertirriego, Fertilización Orgánica, Nutrición Vegetal en el Control de Fitopatógenos, Hidroponía y Sustratos, Contaminación Ambiental y Vinculación entre la Investigación, Empresas y Productores. Temas, todos ellos, que contribuirán de forma significativa para un mejor entendimiento de los requerimientos nutricionales de los cultivos a un uso sustentable del suelo y agua.

Comité Editorial  
Dr. Gabriel Alcántar González  
Dra. Nieves Rodríguez Mendoza  
Dr. Prometeo Sánchez García

# TERRA

## MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

### BOARD

President  
Vicepresident  
Secretary  
Treasurer  
Technical Adviser  
Public Relations  
National and International Events  
Secretary  
Voter  
Voter

**Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro**  
**M.C. José Cisneros Domínguez**  
**Dr. Prometeo Sánchez García**  
**Dr. Fernando de León González**  
**Dra. Edna Álvarez Sánchez**  
**M.C. Ricardo Torres Cossío**

**Dr. Francisco Gavi Reyes**  
**Biól. Rogelio Oliver Guadarrama**  
**M.C. Gaspar Romero Hernández**

EDITOR-IN-CHIEF  
ASSOCIATE EDITOR  
TECHNICAL EDITORS

**Dr. Andrés Aguilar Santelises**  
**Dr. Javier Z. Castellanos**  
**Dr. Gabriel Alcántar González**  
**Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro**  
**Dr. Juan José Peña Cabriales**  
**Dr. Xavier X. Uvalle Bueno**  
**Dra. Edna Álvarez Sánchez**  
**M.C. Jorge Alvarado López**

STYLE EDITOR

## DIVISIONS AND DISCIPLINES

### Division I: Diagnosis, Methodology and Evaluation of the Soil Resource

- a) Soil Genesis, Morphology and Classification
- b) Soil Physics
- c) Soil Chemistry
- d) Pollution

### Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

- a) Plant Nutrition
- b) Water - Soil - Plant - Atmosphere Relationship
- c) Soil Biology
- d) Technology and Fertilizer Use
- e) Water Management and Use

### Division III: Use of the Soil Resource

- a) Soil Conservation
- b) Drainage and Restoration
- c) Soil Fertility
- d) Agrosystem Productivity

### Division IV: Education and Technical Assistance

- a) Education
- b) Credit and Technical Assistance

**TERRA** Registration pending  
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science  
July - September, 1999 Volume 17 Num. 3

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, Estado de México, México.

**Office address:** Edificio del Departamento de Suelos  
Universidad Autónoma Chapingo  
56230 Chapingo, Estado de México.

**Telephone:** +52 (5) 954 60 24 **Fax:** +52 (5) 954 80 76  
**e-mail:** smcs@taurus1.chapingo.mx

### EDITORIAL STAFF

Cover design

**Ina Aalmers de Aguilar**  
**Sofía Blancas Cando**  
**Ricarda Torres Estrada**  
**Gardenia Chávez Peña**

### NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

**Dr. Manuel Anaya Garduño**  
**Dr. Jesús Caballero Mellado**  
**Dr. Lenom J. Cajuste**  
**Dr. Ronald Ferrera Cerrato**  
**Dr. Benjamín Figueroa Sandoval**  
**M.C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz**  
**Dr. Reggie J. Laird**  
**Dr. Angel Martínez Garza**  
**Dr. Roberto Núñez Escobar**  
**Dr. José Luis Oropeza Mota**  
**Dr. Carlos Ortiz Solorio**  
**Dr. Alejandro Velázquez Martínez**  
**Dr. Enrique Palacios Vélez**  
**Dr. Oscar L. Palacios Vélez**  
**Dr. Benjamín V. Peña Olvera**  
**Dr. Antonio Turrent Fernández**

### INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

<b>Dr. Eduardo Besoain M.</b>	Chile
<b>Dr. Winfried E. H. Blum</b>	Austria
<b>Dr. Elmer Bornemisza</b>	Costa Rica
<b>Dr. Luis Alfredo de León</b>	Colombia
<b>Dr. Hari Eswaran</b>	U.S.A
<b>Dr. Anthony Fischer</b>	Australia
<b>Dr. Juan F. Gallardo Lancho</b>	Spain
<b>Dr. Renato Grez Z.</b>	Chile
<b>Dr. Alberto Hernández</b>	Cuba
<b>Dr. José M. Hernández Moreno</b>	Spain
<b>Dr. Eric S. Jensen</b>	Denmark
<b>Dr. Walter Luzio Leighton</b>	Chile
<b>Dr. John T. Moraghan</b>	U.S.A
<b>Dr. Héctor J. M. Morrás</b>	Argentina
<b>Dr. Christian Prat</b>	France
<b>Dr. Parker F. Pratt</b>	U.S.A.
<b>Dr. Paul Quantin</b>	France
<b>Dr. José Rodríguez</b>	Chile
<b>Dr. Carlos Roquero</b>	Spain
<b>Dr. Karl Stahr</b>	Germany
<b>Dr. Bernardo Van Raij</b>	Brazil
<b>Dr. Rafael Villegas</b>	Cuba
<b>Dr. Eduardo Zaffaroni</b>	Brazil

# TERRA

JULY - SEPTEMBER, 1999 • VOLUME 17 • NUMBER 3

## DIVISION II

- 175 Research and extension experiences on organic fertigation.  
*Carlos Olguín Palacios*
- 179 Arbuscular mycorrhizae management on fruit plant propagation systems.  
*A. Alarcón and R. Ferrera-Cerrato*
- 193 Role of mineral nutrition on plant disease tolerance.  
*Vicente Arturo Velasco Velasco*
- 201 Management alternatives for plant diseases.  
*E. Zavaleta-Mejía*
- 209 Useful techniques of diagnosis in the measurement of the soil fertility and the nutrient status of crops.  
*Jorge D. Etchevers Barra*
- 221 Nutrient solution management in the hydroponic production of tomato.  
*Alfredo Lara Herrera*
- 231 Use of growing mediums in the nursery production.  
*J. Narciso Pastor Sáez*
- 237 Crops water requirements under fertirrigation systems.  
*Leonardo Tijerina Chávez*
- 247 Foliar fertilization, an important enhancing for the crop yield.  
*Antonio Trinidad Santos and Diana Aguilar Manjarrez*
- 257 Management of foliar fertilization.  
*Carol J. Lovatt*

- 265 Generation and transference of technology in INIFAP for the development of Mexican agriculture.  
*Rodrigo Aveldaño S., Alfredo Tapia N., and Alejandro Espinosa C.*
- 271 Seaweed-enzymes: Possibilities for stimulating crop yield and improving soil quality.  
*Benito Canales López*

## PRESENTATION

This special number of Terra, official magazine of the Mexican Soil Science Society, contains 12 chosen papers that were presented as lectures during the First National Symposium on Crop Nutrition, held at Queretaro city in Queretaro State, Mexico, from September 20 to September 23, 1998, at the congress center of the Queretaro campus of the 'Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey'.

Each paper of this special number was subjected to peer review and a designated committee conducted the editorial work, which ensures that all papers meet the technical and editorial guidelines of Terra magazine.

Papers deal with Plant Nutrition vanguard issues as: Diagnostic of Nutrient Status, Foliar Fertilization, Fertigation, Organic Fertilization, Nutrient's Role on Pest and Disease Control, Hydroponics, Substrates, and Environmental Pollution. All these issues will contribute to better understand crops nutritional requirements and to develop a more sustainable use of soil and water.

Editorial Committee  
Dr. Gabriel Alcántar González  
Dra. Nieves Rodríguez Mendoza  
Dr. Prometeo Sánchez García

# FERTIGACION ORGANICA: INVESTIGACION Y TRANSFERENCIA

## Research and Extension Experiences on Organic Fertigation

Carlos Olguín Palacios<sup>1</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se describen algunos avances logrados en el Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados sobre la posibilidad de incorporar fuentes orgánicas de nutrimentos vegetales (excretas solubles de peces) en el agua de riego, elevada con bombas de ariete hidráulico. Se trata de conservar productivamente acahuales representativos de la zona que más rápidamente se está empobreciendo en la región central de Veracruz (México) con cultivos de sombra como vainilla y palma camedor, promoviendo la tendencia a la reversión del proceso de desertificación de todo el agroecosistema con el fertirriego orgánico.

*Palabras clave:* Fertigación, sistemas integrados autosuficientes, gestión comunitaria, transferencia de tecnología, hidroarrietes, micro-aprovechamientos hidráulicos.

### SUMMARY

The possibility of adding plant nutrients from an organic source (soluble components of fish excretas) to irrigation water is mentioned in this work. Clean hydraulic energy is harnessed through hydraulic ram pumps allowing pressurization of drip and micro-sprinkler irrigation systems. A broad goal is to reverse the process of deterioration of secondary tropical vegetation ('acahual') in central Veracruz State (Mexico), while promoting cultivation of shade crops, i.e., vanilla and 'chameador' palm.

*Index words:* Fertigation, integrated natural resources management extension, hydraulic ram pumps.

<sup>1</sup> Campus Veracruz, IRENAT, Colegio de Postgraduados, Apartado Postal 421, Veracruz, Veracruz.

Recibido: Mayo de 2000.  
Aceptado: Junio de 2000.

### INTRODUCCION

La nutrición mineral de plantas de cultivo a través del agua de riego (fertigación) representa una técnica relativamente nueva que en general exige la incorporación de energía externa al agroecosistema en niveles y con costos considerables. Las bombas necesarias, accionadas por motores de gasolina o eléctricos, los mecanismos de inyección y la naturaleza inorgánica de las soluciones así lo requieren. El diseño de agroecosistemas auto-suficientes que internamente dispongan de los nutrimentos y la forma de incorporarlos al agua de riego sin fuentes externas de energía, puede ser una opción económica y ecológicamente viable y un objetivo inmediato de estudio. En el campus Veracruz del Colegio de Postgraduados se han iniciado líneas de investigación en ese sentido desde hace algunos años, cuyos resultados nutren la actividad académica (enseñanza de Postgrado) y, a su vez, se reorientan con el análisis, procesamiento y respaldo académico que le dan los profesores y estudiantes del Programa de Maestría y Doctorado en Manejo de Agroecosistemas Tropicales. En este trabajo se describen algunos aspectos de las tecnologías en las que se apoyan las nuevas etapas de trabajo, así como algunos resultados obtenidos hasta el momento. Lo anterior se realiza con el objetivo más amplio de aplicar -en un futuro mediano- tales resultados, en un área específica localizada dentro de la zona de influencia del campus. Se asume que esta área es representativa de cierta problemática socioeconómica (Figura 1) de una parte importante de las tierras y comunidades que más rápidamente se están empobreciendo en la región central del estado de Veracruz.

### MATERIALES Y METODOS

Las acciones que aquí se mencionan se llevaron a cabo durante 1997 y 1998 en la región central del estado de Veracruz, México. La microregión de referencia, en la que se localizan tanto el campus Veracruz del Colegio de Postgraduados, como la comunidad de Angostillo, municipio de Paso de Ovejas, en la que se trabajó, representa la transición

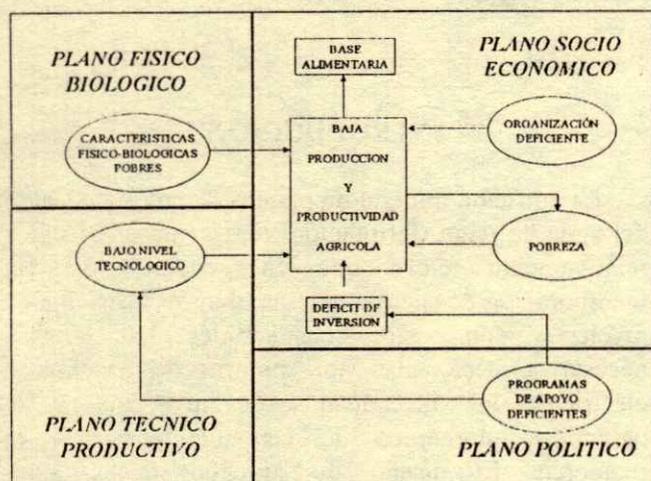


Figura 1. Problemática de la agricultura en la subregión de lomeríos de la zona central de Veracruz.

entre la planicie costera y el pie de monte hacia la Sierra Madre Oriental. La precipitación pluvial es de 1000 a 1200 mm año<sup>-1</sup>; 95 % ocurre en cuatro meses (de junio a septiembre) y 5 % restante en los demás meses del año. La temperatura promedio anual es de 27 °C.

En el desarrollo de las líneas de investigación involucradas se ha definido y conformado lo que se ha llamado Proceso de Investigación-Desarrollo (Olguín, 1992). Elementos de esta metodología coinciden con los que plantean de manera independiente investigadores franceses (Jouve y Meicoret, 1987). Las características fundamentales del proceso se mencionan de manera condensada en las Figuras 2 y 3.

Conviene expresar que este subproyecto de investigación-transferencia es parte de un programa de gestión de recursos naturales que, a su vez, conforma

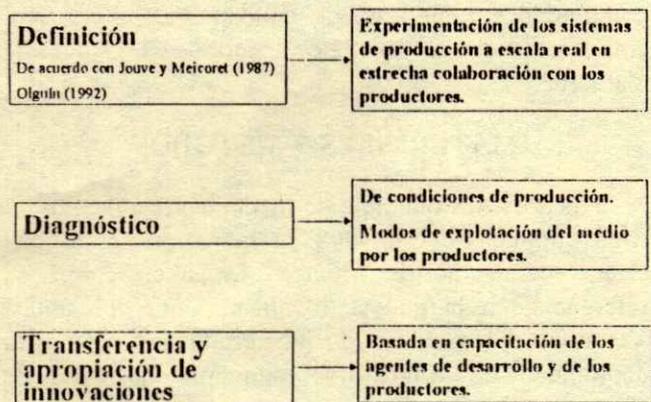


Figura 2. Proceso investigación-desarrollo; atributos básicos.

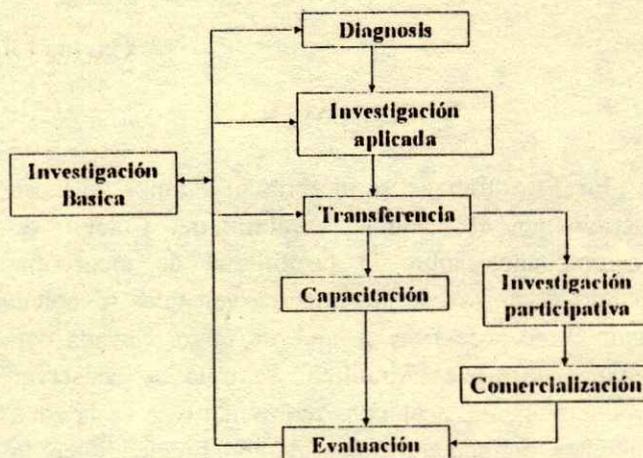


Figura 3. Diagrama operativo del proceso investigación-desarrollo, en el área MIRNZZ del Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados.

una red de proyectos ubicados en diversas partes del país, apoyados por una fundación internacional interesada. Las experiencias de transferencia de cada uno de los grupos de trabajo de esa red, ubicados en el trópico mexicano y fuera de él, son analizadas y aplicadas en alguna medida en cualquiera de los proyectos que la forman. Consecuentemente, en el desarrollo de este trabajo, algunos aspectos sobre transferencia promovidos por participantes de otros proyectos (quizá con concepciones metodológicas particulares, pero objetivos hasta cierto grado homogéneos) se han tratado de aplicar parcialmente en éste (Olguín *et al.*, 1999).

Para los fines de este evento se ha considerado presentar de forma esquemática (Figura 4) la organización metodológica de los elementos que

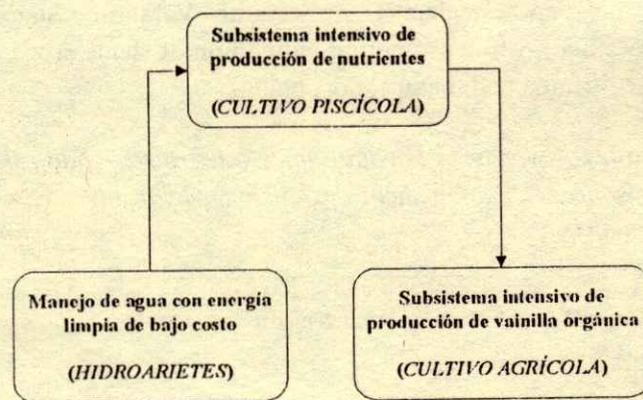


Figura 4. Uso productivo de laderas conservando suelo y vegetación.

componen el agroecosistema en operación. Mayores detalles sobre materiales y métodos empleados se encuentran en las referencias citadas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### En el Campus

En cuanto a los resultados obtenidos en el sistema peces-vainilla que integra el bombeo del agua (hidroarrietes) hacia las zonas de ladera -de otra suerte improductivas-, el cultivo intensivo de peces, como medio de producción de alimentos y de excretas orgánicas fertilizantes, y la conservación dinámica de la vegetación secundaria (acahual), se obtuvo lo siguiente:

- La producción de follaje del acahual fue intensa en la zona de fertirriego y extremadamente pobre en la zona contigua no irrigada. Considérese que el acahual es lo que resta de la cubierta arbórea original: la selva baja y media caducifolia y que aminorar su transformación acelerada hacia matorrales de espinos debe de tener repercusiones biológico-agronómicas importantes. Los estudios actualmente en marcha se centran en este aspecto.

- El crecimiento de los esquejes de vainilla fue de 21.3 cm mes<sup>-1</sup>, lo que sólo se logra en zonas típicamente vainilleras de México, en las que la precipitación pluvial es de más del doble de la que ocurre en esta microregión. En esas regiones los suelos son mucho más fértiles y ricos en materia orgánica, pero la presencia de enfermedades en el cultivo es grave. La zona más seca del centro del estado puede ser una alternativa de solución si se incorpora el agua y los nutrientes a bajo costo económico y ecológico.

- La erosión del suelo fue nula, en cuanto a arrastre del mismo. La proliferación de organismos indicadores de una mayor intensidad de transformación de biomasa podría apuntar hacia una recuperación de la fertilidad del suelo, lo cual se está estudiando con más detalle.

- Se obtuvieron 134 kg de tilapia en cuatro meses, en un estanque de concreto situado a 30 m arriba de la fuente de agua. Los organismos se alimentaron parcialmente con productos generados en el propio agroecosistema y mostraron una conversión alimenticia de 1.69.

- El gasto o caudal logrado (en el campus) con dos arietes trabajando en batería fue de 99 360 L d<sup>-1</sup>, con costos de operación y mantenimiento prácticamente

nulos. El agua así elevada llegó al estanque de piscicultura (de 40 000 L) con 135 % de O<sub>2</sub> disuelto debido al golpe de ariete, lo que junto con el recambio logrado (aproximadamente 100 %) favoreció el manejo de una densidad de organismos por metro cúbico, relativamente elevada. Estos dos arietes, cuyas piezas clave como la válvula de impulso y la disposición espacial de los demás elementos son diseño original del autor (patente en trámite) y constituyen el antecedente de otro diseño cuantitativa y cualitativamente diferente, más potente. Parte de la evaluación de este último modelo se llevó a cabo dentro del campus (Figura 5), para verificar aspectos que no pudieron ser trabajados en la comunidad.

### En la Comunidad

Un grupo de estudiantes de Maestría del campus, del curso Diagnóstico de los Agroecosistemas, realizaron un estudio que contempló el análisis de los factores limitativos y potencialidades de producción en la zona donde se ubica la comunidad de Angostillo, en la que se dan las condiciones para aplicar los resultados de investigación (Estrella *et al.*, 1998). La comunidad de 140 jefes de familia se ubica en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. En ese trabajo se señala, como el problema más importante sentido por los productores, la necesidad de contar con infraestructura y equipamiento confiable para superar la escasez de agua para las viviendas y para una parte de sus tierras de cultivo.

En cuanto al diseño, construcción y pruebas de un nuevo hidroariete (puesto que en los últimos siete años ya se han estado disecando, construyendo,

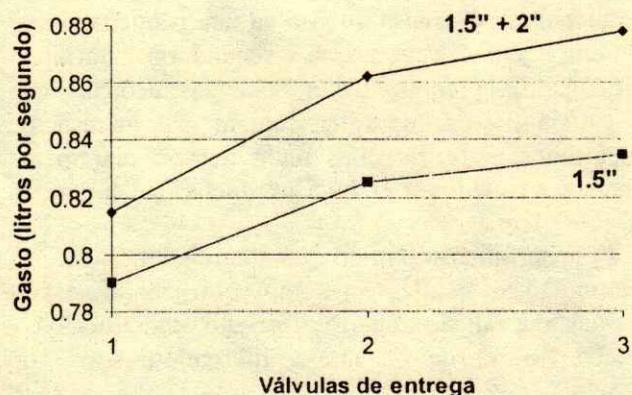


Figura 5. Relación entre el número de válvulas de entrega y gasto, con dos tuberías de salida (2\" + 1.5\" diam) o una tubería de salida (1.5\" diam) en un hidroariete CP-03 con relación h/H: 19.2.

vendiendo e instalando otros más sencillos pero menos potentes) se probó un diseño original con una sola cámara de aire, tres válvulas de entrega y tres válvulas de impulso, incorporadas todas en una sola estructura. De los resultados obtenidos en la comunidad, el de mayor relevancia sería que la literatura mundial reporta como la relación máxima de trabajo posible para cualquier hidroariete, entre la carga de entrega (punto hasta donde se bombea) y la carga de operación (caída disponible para el funcionamiento de la bomba) : 12:1. El aparato diseñado y construido *ex profeso* para superar las condiciones encontradas en la comunidad, reportó una relación de 19.3:1 y fue capaz de elevar 28 000 L d<sup>-1</sup> a 145 m sobre la cota del río (14.5 atm). Para vencer la carga hidrostática y proporcionar ese caudal, generó una presión de trabajo medida de 17.5 kg cm<sup>-2</sup> ó 240 lb pulg<sup>-2</sup> (Olguín, 1998). Estos parámetros de funcionamiento alcanzados lo hacen más potente, eficiente y económico que los que el autor haya visto reportados o conocido. La participación de la comunidad para poder realizar el traslado, ubicación, armado, prueba y cuidado de los materiales y equipos fue totalmente determinante para poder llevar a cabo los trabajos.

### CONCLUSIONES

- Los subsistemas cultivo de peces, bombeo de agua con hidroarrietes hacia las laderas inmediatas de los cauces de ciertas corrientes, como factores fundamentales para cultivar plantas de sombra (ferti-irrigadas) con valor económico pudieron ser integrados en un solo agroecosistema productivo en el campus. Con ello, se apreció -cualitativamente- una producción de biomasa intensa en una pequeña colina cubierta con vegetación secundaria (acahual fertirrigado), en contraste con las zonas aledañas, que en 1998 sufrieron una de las sequías más intensas de los últimos años. En ellas pudo notarse claramente (aunque no medirse) la baja productividad biológica del ecosistema.

- La meta planteada en las condiciones de la comunidad, de realizar el bombeo utilizando sólo la energía hidráulica, condujo al diseño, construcción y prueba exitosa de un nuevo hidroariete capaz de

bompear 28 000 L d<sup>-1</sup> hasta 145 m de altura, con una carga de trabajo de 7.5 m.

- Se avanzó de manera importante en aspectos como la obtención de apoyo y confianza de parte de la comunidad para transferir hacia ella los resultados de investigación intra-campus y generar junto con los ejidatarios experiencias valiosas sobre organización comunitaria, gestión y validación tecnológica.

- Los resultados alcanzados constituyen la base de nuevas acciones de investigación-desarrollo, ahora en marcha, en las que los profesores y estudiantes del campus pueden continuar avanzando en aspectos como fertirrigación orgánica, ingeniería de riego y microaprovechamientos hidráulicos, investigación social en gestión comunitaria y transferencia tecnológica, restauración de agroecosistemas (reversión del proceso de desertificación y aspectos ecológicos y sociales asociados) y diseño y operación integral de agroecosistemas energética y económicamente autosuficientes.

### LITERATURA CITADA

- Estrella, N., J.P. Martínez, E. Domínguez, M.T. Landa, J.R. Llorca, A. Palma, E. Quiñones, S. Rodríguez y L. Sandoval. 1998. Limitantes y potencialidades de producción y productividad en la región temporalera del Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. Reporte de investigación del curso de "Diagnóstico de los Agroecosistemas". Campus Veracruz. Colegio de Postgraduados. M.F. Altamirano, Veracruz, México.
- Jouve, P. y M.R. Meicoret. 1987. La recherche développement: une démarche pour mettre les recherches sur les systèmes de production au service du développement rural. Les Cahiers de la Recherche Développement 16: 8-13. CIRAD, Montpellier, France.
- Olguín P., C. 1992. Proceso investigación-desarrollo aplicado al manejo integral de recursos naturales de las zonas bajas tropicales. pp. 230-237. In: Resultados y Avances de Investigación. V Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de Veracruz. SARH, INIFAP, UV, CP, UNAM, DGTA, UACH. Veracruz, Veracruz, México.
- Olguín P., C. 1998. Diseño, construcción y pruebas iniciales de una bomba de ariete hidráulico para trabajo en condiciones de operación extremas. pp. 29-30. In: Avances de Investigación 1995-1997. Campus Veracruz. IRENAT. Colegio de Postgraduados. M.F. Altamirano, Veracruz, México.
- Olguín, C., M.C. Alvarez y A. Asiain. 1999. Tecnología agroacuicola en la Cuenca Baja del Río Papaloapan. La experiencia del Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados. Red de Gestión de Recursos Naturales. Fundación Rockefeller. México.

# MANEJO DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR EN SISTEMAS DE PROPAGACION DE PLANTAS FRUTICOLAS\*

## Arbuscular Mycorrhizae Management on Fruit Plant Propagation Systems

A. Alarcón<sup>1</sup> y R. Ferrera-Cerrato

### RESUMEN

Los hongos micorrizicos arbusculares, por su efecto como agentes de biorregulación del crecimiento, biofertilizantes y biocontrol, han tenido especial atención en el manejo de las plantas. En esta revisión se presentan las principales aplicaciones de estos endófitos en los diferentes sistemas de propagación de plantas frutícolas. Se hace alusión a consideraciones de su manejo en vivero con la finalidad de obtener los mayores beneficios posibles para los productores: reducción de costos de producción, manejo de productos orgánicos, obtención de plantas con superior vigor y calidad en menor tiempo.

*Palabras clave:* Endomicorriza, vivero, cultivo de tejidos, estacado, semilleros.

### SUMMARY

Arbuscular mycorrhizal fungi have been extensively used in plant management because of their role on plant growth, biofertilizers and biological control of pest and diseases. In the present review, main applications of these endophytes on fruit plant propagation are emphasized. Orchard management is highlighted due to its benefits onto cost reduction, time consuming, use of organic matter and plant quality.

*Index words:* Endomycorrhiza, nursery, tissue culture, cuttings, seedlings, management considerations.

<sup>1</sup> Area de Microbiología, Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Carretera México-Texcoco Km 35.5, 56230 Montecillo, Estado de México.

\*Este artículo forma parte del financiamiento del Proyecto CONACYT 4255P-B9607.

Recibido: Febrero de 2000.  
Aceptado: Junio de 2000.

### INTRODUCCION

En las últimas décadas se le ha dado especial importancia a los hongos micorrizicos, particularmente la micorriza arbuscular, con base en los efectos benéficos que estos micosimbiontes proveen a sus hospedantes; por lo que el manejo que tienen estos endófitos tiene uso potencial en los diferentes procesos de propagación de plantas. Aunque puede aplicarse en campo, con diversas restricciones, la principal aplicación de estos hongos es en aquellos sistemas que requieren de una fase de vivero, antes que se liberen a campo. El manejo o establecimiento de la biotecnología que representan los hongos micorrizicos arbusculares, se debe realizar en las primeras fases del crecimiento y/o establecimiento de las plantas, de modo que reciban el mayor beneficio previamente a su explotación comercial en huertos.

Con base en lo anterior se planteó la necesidad de realizar una revisión de las principales aplicaciones de estos hongos, con el propósito de divulgarlos entre productores. Además de que el conocimiento generado por investigaciones de ciencia básica, pase a formar parte de ciencia aplicada. También en esta revisión, se hace especial énfasis de las condiciones que se requieren para el logro de la mayor expresión benéfica de estos hongos, en plantas de interés frutícola.

### DEFINICION

En todo proceso biológico se establecen interacciones entre los organismos, mismas que contribuyen en el beneficio o detrimento de alguno de ellos. En este sentido se han diferenciado dos principales tipos de asociaciones simbióticas, una del tipo parasítica y otra mutualista (Paul y Clark, 1989).

Entre las simbiosis mutualistas, que se presentan entre plantas y microorganismos, destaca aquella que se establece en el sistema radical y un grupo de hongos en particular. Esta asociación simbiótica desarrolla una estructura compleja especializada denominada micorriza, la cual contribuye principalmente en la adaptación y el desarrollo de las

especies vegetales (Smith y Douglas, 1987; Hudson, 1992).

### GENERALIDADES

Más de 90 % de las comunidades vegetales que se encuentran habitando el planeta, presentan la característica de formar la simbiosis micorrízica. Se conocen dos tipos principales de micorriza, las cuales tienen especial importancia para los aspectos ecológicos, así como en los procesos agrícolas y forestales: la Ectomicorriza y la Micorriza Arbuscular (Malloch *et al.*, 1980). En el caso de la micorriza arbuscular, los hongos responsables de su génesis pertenecen a la Clase de los *Zygomycetes* y al Orden de los Glomales, distribuidos en seis géneros (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellispora*) con un número no mayor de 250 especies en total (Walker, 1992; Morton y Bentivenga, 1994; Varela, 1997).

Estos hongos, al establecerse en la zona cortical del sistema radical de las plantas, tienen la característica de formar estructuras internas, las cuales de acuerdo con su función pueden favorecer el intercambio nutrimental y el almacenamiento de reservas (Bolan, 1991; Sieverding, 1991). Los arbuscúlos son estructuras fúngicas del tipo de las haustorias, que se generan en el interior de las células corticales y cuyo papel es contribuir al incremento de la capacidad de absorción y aprovechamiento de nutrimentos por ambos participantes de la simbiosis.

Otro tipo de estructuras que son características de estos hongos son las vesículas (mismas que no se forman en los géneros *Gigaspora* y *Scutellispora*), cuya función es el almacenamiento de reservas para el hongo y que serán utilizadas en situaciones de limitación energética para el crecimiento de éstos. Ambas estructuras son originadas por micelio intra e intermatricial, cuya característica es traslocar los gránulos de polifosfatos a los sitios donde el fósforo es demandado.

La principal estructura que estos hongos poseen para propagarse y con las que pueden estudiarse taxonómicamente, son las esporas (Varela, 1997). Estas estructuras, hasta la fecha, no se han logrado propagar y multiplicar en medios de cultivos convencionales de laboratorio (Sylvia y Jarstfer, 1994). Este es el principal factor limitativo de su uso, ya que forzosamente requieren de una planta hospedante para su crecimiento y multiplicación; es decir, son considerados como simbioses obligados.

De ahí que el principal reto para los propagadores de estos endófitos benéficos, debido al abastecimiento insuficiente del inóculo, es la producción y aplicación a gran escala.

### FISIOLOGIA DE LA SIMBIOSIS

El beneficio que aporta la simbiosis micorrízica a las plantas está determinado por la actividad del micelio externo del hongo, ya que éste posee mayor capacidad de absorción de los nutrimentos del suelo mediante la extensa red de hifas que el hongo pueda generar. De este modo, la actividad del micelio coadyuva en la función de la raíz sobre todo cuando ésta ha agotado los nutrimentos de la zona del suelo adyacente.

Además del beneficio nutrimental de la simbiosis, también pueden participar como agentes de biocontrol al ataque por patógenos de hábito radical. Sin embargo, el beneficio no sólo se debe al establecimiento de los hongos en el sistema radical, sino que también intervienen diversos factores edáficos y ambientales (Dakessian *et al.*, 1986; Abbott y Robson, 1991) e incluso de manejo de los agroecosistemas (Trejo y Ferrera-Cerrato, 1997), así como la capacidad del hongo para compensar o superar las funciones de la raíz en la absorción de nutrimentos y agua.

A pesar de que las plantas reciben beneficios que afectan directamente su fisiología por el establecimiento de estos endófitos, se genera la interfase que favorece el intercambio nutrimental (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988; Smith *et al.*, 1994). Este tipo de actividad fúngica representa un costo para la planta, la cual tiene que compensar mediante la aportación de fuentes energéticas carbonadas, para que se facilite la actividad metabólica del hongo. Se ha hecho la estimación de que aproximadamente entre 10 y 30 % de los fotosintatos producidos se requieren para la formación, mantenimiento y funcionalidad de las estructuras micorrízicas (Marschner y Dell, 1994), generándose así un sistema de beneficio mutuo.

De manera general, la actividad y el beneficio de los hongos micorrízicos son mayores cuando éstos se encuentran en suelos con deficiencias en fósforo; en esta situación las plantas con inoculación de estos micobiontes presentan mayores tasas de crecimiento que aquéllas sin el hongo.

El principal beneficio que las plantas reciben de los hongos micorrízicos es la aportación de fósforo. En este sentido las plantas micorrizadas presentan

mayores tasas de absorción de fósforo a través de sus hifas que las plantas no micorrizadas. Otro mecanismo relacionado con el incremento en la capacidad de absorción de fósforo se refiere a la eficiencia con la cual las raíces micorrizadas exploran el perfil del suelo, mediante la capacidad de extensión de las hifas más allá de la zona de agotamiento que rodea a las raíces absorbentes y sus pelos radicales (Abbott y Robson, 1991).

Así, la modificación de las propiedades de absorción nutrimental de las raíces micorrizadas depende de: a) el desarrollo de hifas extramatriciales en el suelo, b) absorción de fósforo por las hifas, c) traslocación del P a través de las hifas a distancias considerables y d) la transferencia del P desde el hongo hacia las células radicales (Bolan, 1991).

Estudios en invernadero demuestran que la asociación simbiótica de los hongos micorrizicos en las raíces de las plantas producen diversos cambios y/o modificaciones a nivel fisiológico, entre los que destacan los incrementos en la actividad fotosintética, por efecto de la mayor capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> y, por consiguiente, el incremento de las tasas de crecimiento y biomasa producida, que las plantas micorrizadas presentan en comparación con plantas control (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1996; Alarcón *et al.*, 1997a; Olalde, 1997).

Entre ambos componentes de la simbiosis se establecen diversos procesos fisiológicos y bioquímicos, de modo que la planta hospedante puede presentar cambios en la morfología de la raíz (Hetrick, 1991). Este aspecto al parecer está relacionado con la capacidad que tienen los hongos micorrizicos para producir hormonas como ácido abscísico, giberelinas, auxinas y citocininas (Allen *et al.*, 1980; 1982; Hetrick, 1991; Olalde, 1997). Sin embargo, las respuestas que se pueden observar varían en función del grado de dependencia de las plantas a estos endófitos; así, las plantas con dependencia obligada o facultativa pueden ser más susceptibles a las modificaciones en la síntesis de fitohormonas que genera la simbiosis micorrízica (Hetrick, 1991).

#### MANEJO DE LA SIMBIOSIS MICORRIZICA EN LA FRUTICULTURA

A partir de los beneficios que la simbiosis micorrízica aporta a sus hospedantes y considerando a la Fruticultura como actividad importante del sector primario en México, se plantea el uso de los hongos micorrizicos arbusculares con el fin de generar plantas

con potencial de uso en los diversos sistemas de producción tanto hortícola como frutícola (Chang, 1994; Alarcón, 1997).

En el caso de las especies frutícolas, la mayoría de ellas, específicamente aquellas que se establecen en campo y de hábito perenne, necesariamente requieren de períodos de crecimiento a nivel de vivero, previo a su liberación en los huertos comerciales donde se pretendan introducir.

Es precisamente en esta fase, donde la aplicación de la inoculación y manejo de los hongos micorrizicos arbusculares representan alto potencial (Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1994, 1997; Alarcón *et al.*, 1996; Alarcón, 1997), ya que, como se ha mencionado, la micorriza actúa como acelerador del crecimiento, por lo que se pueden obtener plantas con mayor vigor y sanidad. Otro tipo de beneficio sería desde el punto de vista económico, ya que los costos de producción podrían ser menores en función de la reducción de la aplicación de fuentes fertilizantes (Cuadro 1).

A continuación se mencionarán la aplicación y manejo de los hongos micorrizicos arbusculares en frutales, haciendo especial referencia del uso de ellos a partir de los diversos sistemas de propagación de plantas.

#### Cultivo de Tejidos

En las últimas décadas la propagación de plantas a partir de cultivos de tejidos ha tenido gran auge. La principal ventaja que ofrece este tipo de sistemas está enfocada a la obtención de plantas en mayores cantidades y menor tiempo y con cualidades de estar libres de agentes patógenos como son virus, hongos y otros.

Sin embargo, este tipo de plantas tienen ciertas limitaciones o dificultades en la etapa de aclimatación a condiciones post *in vitro*. Es precisamente en esta etapa donde la aplicación de los hongos micorrizicos arbusculares puede tener mayor impacto (Vestberg y Estaún, 1994), ya que, de manera general, la tecnología utilizada en la micropropagación de plantas no toma en consideración la importancia de la simbiosis micorrízica en este tipo de sistemas.

Se debe considerar que las plantas micropropagadas presentan ciertas condiciones de heterotrofia, ya que viven a expensas del suministro de fuentes carbonadas del medio de cultivo (Dr. Fred T. Davies, comunicación personal). En este sentido, la fotosíntesis que estas plantas presentan es muy baja,

**Cuadro 1. Efecto de la inoculación de hongos endomicorrizicos y su interacción con fertilización fosfatada, en el crecimiento de fresa cv. Fern, a 210 días después de la inoculación (Alarcón, 1993).**

Tratamiento	Materia seca parte aérea (g)			Número de flores		
	Fósforo aplicado			Fósforo aplicado		
	mg kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		
	0	20	30	0	20	30
Testigo	10.6 a	11.2 a	11.1 a	27.4 a	24.6 a	28.0 a
<i>Glomus fasciculatum</i>	12.0 a	12.0 a	12.2 a	26.2 a	30.6 a	29.2 a
<i>Glomus etunicatum</i>	12.2 a	12.3 a	12.3 a	24.2 a	21.0 a	29.6 a
<i>Glomus aggregatum</i>	7.1 b <sup>†</sup>	9.8 ab	11.8 a	18.5 a <sup>†</sup>	15.2 a	32.2 a

\* Valores con diferente letra en la misma variable son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

<sup>†</sup> Único tratamiento con fructificación.

por lo que es necesario inducir en primera instancia el incremento en la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> y, por consiguiente, propiciar el cambio de metabolismo hacia la autotrofia. De este modo, el llevar a cabo la inoculación de los micosimbiontes podría facilitar los cambios fisiológicos que la planta requiere con el fin de favorecer la tasa de adaptación de las plántulas (Alarcón, 1993; Vestberg y Estaún, 1994; Lovato *et al.*, 1996). No obstante la importancia de la inoculación de los endófitos micorrizicos, siempre es necesario tomar en cuenta diversos factores que pueden repercutir en la funcionalidad y eficiencia de ellos. Dentro de estos factores está la composición de los sustratos de crecimiento, así como las condiciones de crecimiento tanto de cámara como de invernadero. Existen numerosas investigaciones en las que se establece el beneficio que tiene la inoculación de hongos endomicorrizicos en diversas especies frutícolas con manejo de la micropropagación (Cuadro 2). Algunos de ellos están encaminados al estudio de la adaptabilidad y desarrollo de las plántulas a condiciones *ex vitro*, como es el caso de fresa (Figura 1) (Hrselová *et al.*, 1989; González y Ferrera-Cerrato, 1990; Vestberg, 1992; Vosatka *et al.*, 1992; Williams *et al.*, 1992; Alarcón *et al.*, 1993a); piña (Guillemin *et al.*, 1992; Lovato *et al.*, 1992; Alarcón *et al.*, 1993b); vid (Ravolanirina *et al.*, 1989a,b; Schellenbaum *et al.*, 1991; Alarcón *et al.*, 1993b); kiwi (Schubert *et al.*, 1992); pera y durazno (Rapparini *et al.*, 1994), cítricos (Hernández-Meza *et al.*, 1996 a,b), entre otros (Cuadro 2).

Aún considerando que la aplicación de estos microorganismos puede ser factible en la etapa de aclimatación de las plantas, también es posible utilizarlos *in vitro*. Una de estas fases es la etapa de enraizamiento y la justificación radica en la facilidad de germinación de las esporas micorrizicas en los medios de cultivos utilizados para la generación de raíces en las plántulas (Vestberg y Estaún, 1994). Sin

embargo, su aplicación es un tanto limitada, ya que las plantas generan raíces de tipo primario y los hongos micorrizicos únicamente invaden raíces secundarias (Brundrett *et al.*, 1985).

Así también es factible realizar la inoculación de estos endófitos al momento del trasplante a condiciones de campo, donde las plantas inoculadas pueden responder favorablemente a la micorrización. Sin embargo, estos resultados pueden ser dependientes de la estación del año (Vestberg, 1992), así como de los diversos manejos del agroecosistema y factores ambientales, de modo que la funcionalidad de la simbiosis puede ser modificada a tal grado de no observarse respuestas en la producción.

Del mismo modo, el uso de este tipo de simbiontes en conjunto con algunos microorganismos benéficos (como fijadores de nitrógeno de vida libre, *Pseudomonas*, etc.) (Vosatka *et al.*, 1992; Linderman, 1993) puede repercutir en incrementos del crecimiento y producción de las plantas. Estos efectos están directamente correlacionados con la actividad del micelio de los hongos micorrizicos, el cual tiene la capacidad de modificar la microfiora nativa, de modo que las poblaciones de microorganismos benéficos se incrementan en la zona influenciada tanto por las hifas fúngicas como por la raíz; a este fenómeno, Linderman (1993) lo ha denominado como micorrizosfera y Andrade *et al.* (1998) como hifosfera.

En muchos de los casos las respuestas a la micorrización están determinadas por factores intrínsecos entre un determinado hongo y su interacción con el genotipo de hospedante. Así, podemos encontrar diferentes grados de respuesta y dependencia a la actividad de los hongos micorrizicos arbusculares, entre cultivares de una misma especie (Declerck *et al.*, 1995). En este sentido, la compatibilidad que se tenga entre ambos genotipos (hospedante-simbionte), será determinante en el éxito

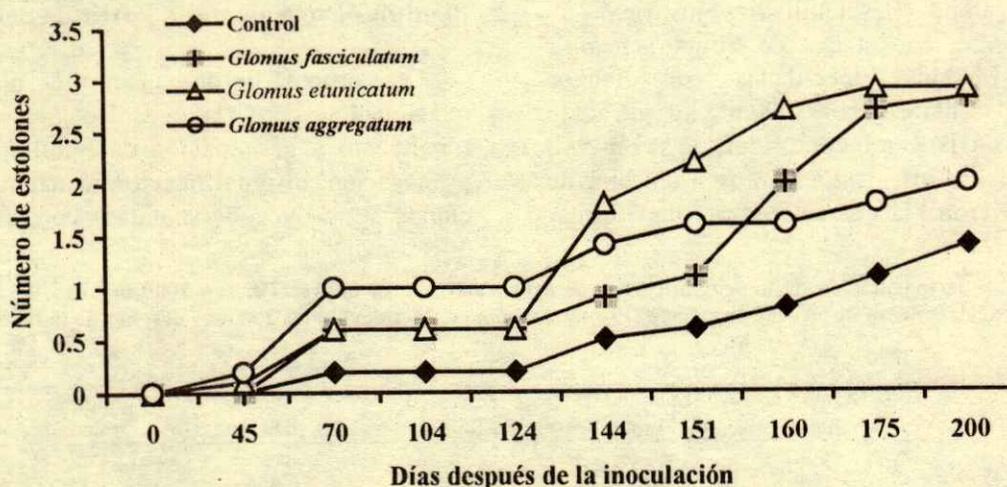
**Cuadro 2. Aplicaciones y beneficios de la inoculación con hongos micorrizicos arbusculares en algunos frutales generados por micropropagación**

Especie frutal	Incremento del crecimiento de la simbiosis	Referencia
<i>Fragaria ananassa</i>	Incremento en crecimiento y formación de estolones	Hrselová <i>et al.</i> (1989)
	Crecimiento e interacción con fungicida	González y Ferrera (1990)
	Crecimiento y fructificación con interacción de bacterias y composición de sustrato	Vosatka <i>et al.</i> (1992)
<i>Ananas comosus</i>	Crecimiento con interacción de dosis fertilizantes	Williams <i>et al.</i> (1992)
	Crecimiento, nutrición y producción de estolones	Alarcón <i>et al.</i> (1992)
	Crecimiento con interacción de suelos ácido o alcalino	Lovato <i>et al.</i> (1992)
<i>Vitis vinifera</i>	Crecimiento con base en selección y afinidad de inoculantes	Guillemin <i>et al.</i> (1992)
	Compatibilidad y efecto en crecimiento	Alarcón <i>et al.</i> (1993b)
	Crecimiento con interacción de sustratos y aplicación de inoculantes comerciales	Lovato <i>et al.</i> (1992)
<i>Actinidia deliciosa</i>	Crecimiento y desarrollo bajo condiciones <i>in vitro</i> y post <i>in vitro</i>	Ravolanirina <i>et al.</i> (1989a)
	Mayor enraizamiento post <i>in vitro</i> y efecto en crecimiento	Ravolanirina <i>et al.</i> (1989b)
	Inducción de cambios morfológicos de la raíz y efectos en el crecimiento	Schellenbaum <i>et al.</i> (1991)
<i>Pyrus communis</i> y <i>Prunus persica</i> x <i>P. amigdalus</i>	Mejoramiento de la nutrición, desarrollo e interacción de condiciones ambientales	Alarcón <i>et al.</i> (1993b)
	Crecimiento con interacción de dosis fertilizantes de NPK	Schubert <i>et al.</i> 1992)
	Promoción de crecimiento: relación parte aérea-raíz	Rapparini <i>et al.</i> (1994)
<i>Prunus avium</i>	Nutrición y crecimiento	Pons <i>et al.</i> (1983)
<i>Citrus</i> sp.	Mejoramiento de la capacidad de aclimatación, crecimiento y nutrición	Hernández-Meza <i>et al.</i> (1996a,b)
<i>Persea americana</i>	Aclimatación, crecimiento y desarrollo	Azcón-Aguilar <i>et al.</i> (1992)

del uso de la biotecnología que representan los hongos micorrizicos en su aplicación no sólo en la micropropagación sino también en los diversos sistemas de propagación de plantas.

**Estacado**

Otro método de propagación de plantas es el estacado. Aunque en este tipo de sistema la aplicación de hongos micorrizicos arbusculares ha sido poco



**Figura 1. Dinámica de aparición de estolones de fresa por efecto de la inoculación de hongos micorrizicos arbusculares (Alarcón *et al.*, 1992).**

utilizada (Linderman y Call, 1977; Kormanik *et al.*, 1982), sus efectos en el enraizamiento de estacas aún no son del todo claros.

No obstante, los hongos micorrízicos arbusculares poseen la capacidad de estimular la formación de raíces laterales a partir de una estaca, debido a la actividad fisiológica de estos endófitos para sintetizar reguladores del crecimiento: auxinas y citocininas (Gianinazzi, 1991). Sin embargo, se debe considerar el tipo de estaca (madera suave o leñosa), contenido de reservas (carbohidratos), edad fisiológica de la parte del árbol de donde se extraigan las estacas, así como la dosificación de agentes enraizadores (comerciales o grado reactivo), con la finalidad de favorecer el enraizamiento *de novo* a partir de una estaca (Weaver, 1987; Jankiewicz, 1989).

En lo que respecta a frutales, se ha utilizado la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares para evaluar su actividad en la promoción de raíces en estacas. De este modo, se ha probado en manzana (Gnekow y Marschner, 1989) y kiwi (Powell y Santhanakrishnan, 1986; Calvet *et al.*, 1989). La mayoría de estos estudios se basaron en el hecho de que estas especies presentan alta dependencia hacia el establecimiento y funcionalidad de los hongos. Además, si se considera que se tienen problemas (dificultad de establecimiento del explante, dificultad en el enraizamiento, etc.) en la multiplicación de algunas especies arbóreas mediante cultivo de tejidos, así como por la idea de que se acorta o evita en gran medida la juvenilidad de los árboles, expuestos a condiciones de campo, el estaquillado se justifica.

Particularmente, en estacas de ciruelo (*Prunus salicina* cv. Methley) inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares y con 2000 mg kg<sup>-1</sup> de ácido indol 3-butírico (AIB) como enraizador, no se observó enraizamiento y los tratamientos únicamente inoculados tuvieron la característica de formar

primordios radicales y raíces laterales (Cuadro 3). Al parecer, la concentración de AIB produjo efectos tóxicos además de acelerar el proceso de generación de brotes aéreos; lo cual además de propiciar gasto energético en la estaca, por el uso de sus reservas, inhibió la formación de raíces provocando la muerte de las estacas. No obstante, las estacas inoculadas produjeron brotación tardía (Figura 2) y generación de raíces *de novo* (Cuadro 3), a los 200 días después de la inoculación (Alarcón *et al.*, 1994).

Por lo anterior, se infiere que la inoculación de hongos micorrízicos favorece la formación de primordios y raíces laterales; sin embargo, es necesario realizar estudios al respecto.

En el caso de los cítricos, la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares puede favorecer el enraizamiento de estacas de portainjertos como Citrange carrizo (*Poncirus trifoliata* x *Citrus sinensis*). Sin embargo, existen genotipos que tienen mayor ventaja, ya que presentan raíces preformadas, como mandarina cleopatra (*Citrus reticulata*, Blanco), por lo que su enraizamiento depende de la presencia de estos meristemas. No obstante, la inoculación de hongos micorrízicos interacciona con enraizadores comerciales, produciendo mayor ramificación de las raíces de primer orden, por lo que el efecto de la micorrización estriba en la formación de raíces de tercer orden, incrementando así la calidad de la raíz, particularmente en Citrange carrizo (Vázquez *et al.*, 1996).

### Plántulas Provenientes a Partir de Semilla

Otro sistema de propagación de plantas es aquél relacionado con la recolección, conservación, tratamiento y germinación de semillas. Este tipo de propagación, al igual que los mencionados, presenta ciertas ventajas y desventajas. Por un lado, como

**Cuadro 3.** Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y su interacción con 2000 mg kg<sup>-1</sup> de AIB (ácido indol 3-butírico), en el enraizamiento de estacas de ciruelo (*Prunus salicina* cv. Methley), a los 200 días después de la inoculación (Alarcón *et al.*, 1994).

Tratamiento	Número de hojas	Longitud de brotes	Peso seco follaje	Volumen radical	Longitud raíces	Colonización micorrízica
	cm	cm	g	cm <sup>3</sup>	cm	%
Testigo + AIB	0.0b	0.0b	0.00b	0.00b	0.0b	0.0b
<i>Glomus</i> spp. Zac-19 + AIB	0.0b	0.0b	0.00b	0.00b	0.0b	0.0b
<i>Glomus intraradix</i> + AIB	0.0b	0.0b	0.00b	0.00b	0.0b	0.0b
<i>Glomus</i> spp. Zac-19	22.8a	10.4a	0.31a	0.77a	15.1a	62.5a
<i>Glomus intraradix</i>	15.1a	5.8a	0.13a	0.40a	9.0a	71.4a

Valores en la misma columna con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

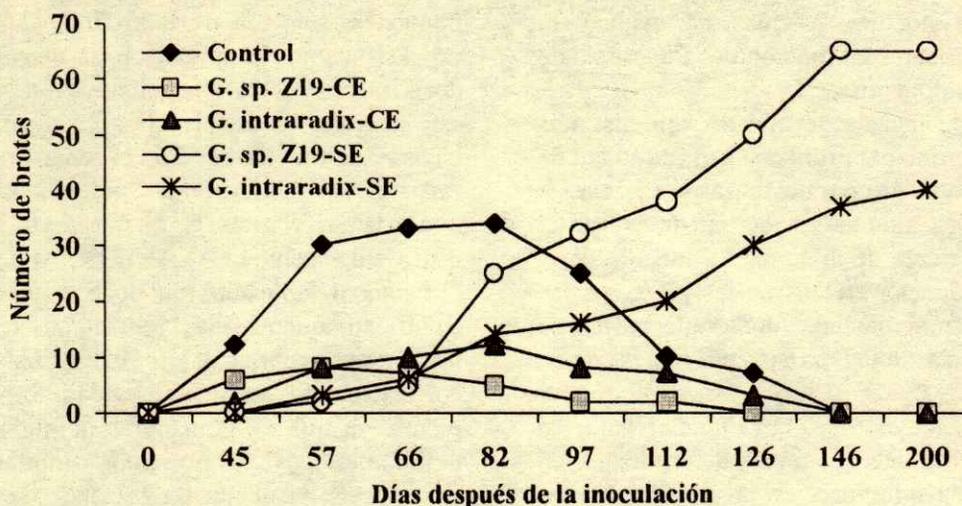


Figura 2. Brotación de estacas de ciruelo (*Prunus salicina* cv. Methley) en proceso de enraizamiento por efecto de hongos micorrizicos (G=*Glomus*) en interacción con 2000 mg kg<sup>-1</sup> de ácido indol-3 butírico (AIB) (CE= con 2000 mg kg<sup>-1</sup> enraizador; SE= sin enraizador) (Alarcón *et al.*, 1994).

ventaja se tiene la posibilidad de mantener germoplasma con variabilidad genética, lo cual es provechoso para la propagación de portainjertos con características favorables para diversos problemas (climáticos, edáficos, compatibilidad genética, tolerancia a enfermedades, etc.). Sin embargo, como desventaja se tiene, primordialmente, la presencia de características de juvenilidad y variabilidad genética (caso de la poliembrionía, por ejemplo), por lo que para la propagación de cultivares comerciales, este sistema no es muy recurrido, ya que se utiliza como alternativa el acodado, injertación, estacado o el cultivo de tejidos.

Para el caso de la propagación de portainjertos, el uso de los hongos micorrizicos representa alto potencial debido, como se mencionó, a la capacidad de promoción del crecimiento y nutrición de estos endófitos hacia la planta.

La inoculación de estos endófitos puede realizarse en diferentes fases: a) inoculación en semilleros, b) inoculación al momento del trasplante y c) mezcla de inoculo en sustratos de crecimiento (Bagyaraj, 1992; Gonzalez-Chávez *et al.*, 1998).

En el caso de la inoculación en semilleros, ésta presenta ciertos problemas ya que las semillas pueden germinar lentamente o bien, al germinar pueden producir ciertas sustancias que inhiban el proceso de colonización intraradical por parte de los hongos micorrizicos. Además, si consideramos que en la mayoría de las especies frutícolas arbóreas, las plántulas dependen del contenido de reservas de sus

hojas cotiledonales, entonces la inoculación podría resultar innecesaria. En este sentido, este tipo de inoculación es recomendable para semillas con bajo contenido de reservas. No obstante, González-Cabrera *et al.* (1993) realizaron la inoculación en semillero de capulín (*Prunus serotina* var. capuli) encontrando respuestas en crecimiento y vigor a los 30 días después de la emergencia de las plántulas.

El método más recomendable para la inoculación es en el trasplante, una vez que las plántulas emergidas presenten el primer par de hojas verdaderas. En este caso, el trasplante se realiza a raíz desnuda de modo que al aplicar el inoculante en la raíz, se propicie el contacto directo, para un rápido establecimiento y expresión del beneficio de la simbiosis en menor tiempo.

La inoculación en este método, además de facilitar la colonización y funcionalidad de los endófitos, también permite ahorro en la cantidad de inóculo o suelo-inóculo a aplicar por planta. Así, se puede dosificar de 1 a 15 g de inoculante o incluso 0.5 g de raíz (Alarcón *et al.*, 1993a) colonizada por los endófitos. En este sentido, Botello *et al.* (1993) no encontraron diferencias estadísticas significativas entre la aplicación de 1, 10, 25 y 50 g de suelo-inóculo planta<sup>-1</sup> en *Citrus aurantium*. Con esto ellos recomiendan en cuestión de práctica y desde el punto de vista económico, la inoculación de 1 g de inóculo.

Sin embargo, para estos fines se debe considerar el grado (porcentaje) de colonización y cantidad de propágulos fúngicos con capacidad infectiva (raíces

colonizadas, esporas y micelio extramatricial), que contenga el suelo-inóculo. Además de evaluar la calidad de los inoculantes en función de la ausencia de microorganismos patógenos.

En el caso de la mezcla de inóculo con sustratos de crecimiento, el principal problema es la cantidad de inoculante que se requiere para elaborar la mezcla. Si se aplican pequeñas cantidades, se puede correr el riesgo de que por efecto de dilución del inóculo en el sustrato no se produzcan efectos en las plantas a las que se pretendan inocular, debido a que el hongo puede estar demasiado lejos del sistema radical de su planta hospedante.

Aun cuando el método a utilizar para la inoculación es importante, un factor determinante en la efectividad de la simbiosis es la esterilización o desinfección del sustrato, tanto para semillero como para la elaboración de camas o para el llenado de contenedores. Con este proceso se eliminan microorganismos con capacidad patogénica, además de que al momento de reintroducir los hongos micorrízicos arbusculares, éstos puedan establecerse en el sistema radical y, por tanto, asegurar que su funcionalidad se potencie sin la interferencia de microorganismos con alta capacidad competitiva.

Otro aspecto importante a destacar es la composición de los sustratos de crecimiento, ya sea un solo componente o la mezcla de varios (González-Chávez *et al.*, 1995). En este sentido, el uso de altos niveles de materia orgánica podría actuar como inhibidor del efecto benéfico de la simbiosis (Sieverding, 1991; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1995). Por lo anterior, es recomendable utilizar dosis mínimas, de modo que se establezca un efecto sinérgico entre materia orgánica y endófitos micorrízicos (Aguas *et al.*, 1995; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1995; Quiñones *et al.*, 1995; Manjarrez *et al.*, 1996; 1997; 1998).

Como alternativas de fuentes de materia orgánica se pueden mencionar los productos composteados, así como aquellos obtenidos por la actividad de lombrices como la vermicomposta de café, estiércol, etc. (Aguas *et al.*, 1995; Velasco *et al.*, 1996; Reyes *et al.*, 1997) o desechos industriales como la cachaza, bonote de coco, etc. (Aguas *et al.*, 1995; Quiñones *et al.*, 1995).

Una de las prácticas comunes en el vivero es la aplicación de pesticidas. El uso de estos químicos está encaminado a la erradicación o control de patógenos. Particularmente, el uso de fungicidas puede alterar la fisiología de la simbiosis; en especial los fungicidas sistémicos, por lo que es recomendable utilizarlos en

dosis mínimas, ya que con ello los hongos micorrízicos no son afectados drásticamente.

Así mismo, la aplicación de nematicidas en altas dosis puede afectar la colonización micorrízica. En este aspecto, el uso de ellos en dosis intermedias o bajas, además de evitar el daño por nematodos, favorece la funcionalidad y efectividad de los hongos micorrízicos (Fariás *et al.*, 1996a). De otro modo, insecticidas como el ALACLOR, Atrazina, Terbutrina o Paraquat, aplicados en dosis comerciales, afectan significativamente la colonización de los endófitos micorrízicos (Fariás *et al.*, 1996b). Estos efectos están correlacionados con la actividad fotosintética de la planta, ya que estos insumos químicos actúan como defoliantes y al presentar limitaciones en la fotosíntesis, la planta no es capaz de suministrar las fuentes carbonadas energéticas para microorganismos heterótrofos como los hongos micorrízicos arbusculares. Con todo lo mencionado, se deben encontrar dosis de aplicación que permitan el desarrollo de la simbiosis y que además se logre el control deseado.

Igual situación se presenta con el uso de fertilizantes. Como se ha mencionado, el fósforo es determinante en la funcionalidad de la simbiosis, por lo que este elemento debe utilizarse en dosis bajas y con ello favorecer al hospedante. Fuentes fertilizantes como la roca fosfórica (González Chávez y Ferrera-Cerrato, 1994) o superfosfato triple (Aguas *et al.*, 1995), en bajas aplicaciones, pueden tener efecto sinérgico con los hongos micorrízicos (Sánchez-Espindola *et al.*, 1993). Así también, el uso de fuentes nitrogenadas pueden no tener efectos significativos o incluso tener cierta interacción con los micobiontes (Alarcón *et al.*, 1997a).

Otro aspecto importante a destacar, es el grado de dependencia de los frutales al establecimiento de los hongos micorrízicos. En este sentido, se pueden definir especies micotróficas obligadas, es decir, aquellas que requieren obligadamente del establecimiento de estos endófitos, aun cuando se les proporcionen los requerimientos nutrimentales para su desarrollo, como es el caso de los cítricos. Por otra parte, existen especies con micotrofismo facultativo, cuya dependencia a los hongos está en función de la satisfacción de sus requerimientos nutricionales; es decir, si encuentran condiciones de limitación, entonces requerirán del establecimiento y funcionalidad de la simbiosis. Otras especies no requieren del establecimiento de estos hongos (plantas no micotróficas), debido a que su sistema radical está

provisto de abundantes pelos radicales que les permiten mayor captación de nutrimentos y, por tanto, la funcionalidad de los simbiontes micorrizicos no interviene en la fisiología de la planta.

Como se puede apreciar, las diferencias entre el grado de micotrofismo de algunas especies dependen en gran medida del tipo y hábito radical. Así tenemos que la mayoría de los frutales arbóreos son micotróficos obligados debido a que su sistema radical carece o presenta escasos pelos radicales, por lo que no pueden hacer uso eficiente de los nutrimentos del suelo o sustrato, aun cuando éste no presente problemas de disponibilidad. De ahí la importancia de realizar la inoculación de hongos micorrizicos, ya que mediante su micelio externo tienen la capacidad de explorar mayor volumen del suelo y consecuentemente traslocar y abastecer de nutrimentos a su hospedante. De igual forma, el hábito de crecimiento de la planta hospedante puede ser determinante en la expresión del beneficio del incremento en materia seca, como es el caso del chicozapote (Alarcón y Ferrera-Cerrato, datos sin publicar). Sin embargo, la implementación de la inoculación puede tener repercusión en aspectos nutricionales, así como el beneficio puede ser propiciado por la combinación de las condiciones ambientales que permitirán la expresión del incremento de la tasa de crecimiento de las plantas hospedantes (Alarcón *et al.*, 1993b).

#### RETOS DE LA DIVULGACION Y APLICACION DE LOS HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES

Como se ha mencionado, la aplicación de los hongos micorrizicos arbusculares está plenamente justificada por sus efectos benéficos en aspectos relacionados con su capacidad de fungir como biorreguladores del crecimiento y desarrollo, biofertilizantes, así como participar como agentes de biocontrol (Alarcón, 1997).

Sin embargo, el principal reto está dirigido al manejo de estos hongos con el fin de producción de inoculante de calidad, en cantidad suficiente, con el objetivo de abastecer de manera comercial a los productores, al igual que se asegure la limpieza de los inoculantes en cuestión de microorganismos patógenos (Feldman *et al.*, 1998).

Aun cuando los hongos micorrizicos no presentan problemas por especificidad hacia sus hospedantes, es necesario a veces realizar ciertas pruebas de selección

encaminadas a los propósitos de los productores (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1993a). Aunque este proceso no es sencillo, debido a que se requiere de investigación básica, es recomendable utilizar aquellos endófitos con mayor afinidad hacia un hospedante en particular. Esto porque algunos hongos nativos de suelo rizosférico de plantaciones específicas han promovido mayores efectos que cepas aisladas de otros agroecosistemas (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1993b; Lara *et al.*, 1998). Esto permite inferir que la potenciación de hongos nativos puede resultar altamente favorable, ya que éstos están en mayor ventaja por su grado de adaptación a las diversas condiciones edafo-climáticas que, por ejemplo, se pueden encontrar en nuestro país.

De igual forma, se debe buscar la mejor interacción genotípica entre hongo-planta, esto porque algunas especies fúngicas pueden tener mayor afinidad al compararse con varios hospedantes o incluso entre individuos de la misma especie, pero diferente cultivar o raza (Reich, 1988; González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1993a; Declerck *et al.*, 1995).

No obstante, no hay que confundir algunos conceptos, tal es el caso de la capacidad infectiva con la capacidad efectiva de los hongos micorrizicos arbusculares. El hablar de que un determinado hongo no coloniza en abundancia, no es sinónimo de que no sea efectivo (Alarcón *et al.*, 1993b; González-Chávez *et al.*, 1998). En contraste, podemos encontrar hongos que colonizan en baja proporción, pero que sus efectos son altamente significativos en su potencial de estimulación del crecimiento o como agentes de control biológico. Por el contrario, existen hongos que llegan a colonizar a sus hospedantes abundantemente y sus efectos en la promoción del crecimiento son bajos o nulos.

Una de las necesidades actuales que se aprecian en la fruticultura nacional es la realización de investigaciones respecto al uso de estos micobiontes en frutales nativos exóticos con alto potencial de explotación, así como en aquellos con posibilidad de introducción para nuestro país; estas investigaciones pueden desarrollarse tanto *in situ* como en condiciones de laboratorio e invernadero.

Con el uso de esta biotecnología se puede contribuir en el manejo de los sistemas de propagación y producción de plantas en vivero, de forma tal que se genere cierta sustentabilidad de estos sistemas (Dr. Fred T. Davies, comunicación personal). Esto se puede lograr con el uso de productos de origen

orgánico como insecticidas, fungicidas, materia orgánica, sustratos inertes u orgánicos, fertilizantes dosificados racionalmente o con el uso de fertilizantes de liberación lenta e incluso con la interacción de microorganismos benéficos (Perotto *et al.*, 1998). De este modo se contribuye con beneficios económicos para el productor, se pueden obtener plantas de mayor calidad, con ahorro de tiempo de estancia en vivero para efectuar procesos como la injertación (Alarcón *et al.*, 1997b), además preservar el ambiente, evitando con esto agravar los problemas de contaminación que actualmente presenta nuestro planeta.

### LITERATURA CITADA

- Abbott, L.K. y A.D. Robson. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizas. *Agric. Ecosystems Environ.* 35: 121-150.
- Aguas, R.T., R. Ferrera-Cerrato, M.C. González Ch., A. Villegas-Monter y A. Martínez G. 1995. Efecto del fósforo, vermicomposta, cachaza e inoculación micorrizica en el desarrollo *Carica papaya* L. pp. 106. *In:* J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch., y R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1992-1995. Memorias XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México.
- Alarcón, A. 1993. La micorriza vesículo-arbuscular en el manejo de dos métodos de propagación de frutales. Tesis de Licenciatura Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Alarcón, A. 1997. Manejo de la micorriza arbuscular a nivel de vivero. p. 49. *In:* Memorias del VI Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas.
- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1995. Niveles de vermicomposta y micorriza arbuscular en el desarrollo de plántulas de *Casuarina equisetifolia* L. a nivel de vivero. p. 84. *In:* Memorias de la Primera Reunión Internacional de Ecología Microbiana. Centro de Investigación y Estudios Avanzados-IPN. México, DF.
- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1996. Dinámica de colonización y efecto de hongos endomicorrizicos sobre el crecimiento de *Casuarina equisetifolia* L. pp. 298-302. *In:* J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Nuevos horizontes en agricultura: Agroecología y desarrollo sustentable. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México.
- Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1992. La micorriza V-A en el desarrollo vegetativo y nutrición de plantas de fresa (*Fragaria x annanasa* Duch. Cv. Fern). pp. 221. *In:* J.L. Tovar S. y R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1991-1992. Memorias del XXV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Guerrero. México.
- Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1993a. Influencia de tres hongos micorrizicos vesículo arbusculares en fresa (*Fragaria x ammanassa* Duch.) cv. Fern y su interacción con fertilización fosfórica. pp. 62-76. *In:* J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Avances de Investigación Área de Microbiología de Suelos. PROEDAF-Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1993b. Inoculación de hongos micorrizicos vesículo arbusculares en vid y piña obtenidos por cultivo *in vitro*. pp. 113-122. *In:* J. Pérez M. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Avances de Investigación Área de Microbiología de Suelos. PROEDAF-Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Alarcón, A., M.C. Gonzalez-Chávez, R. Ferrera-Cerrato and A. Villegas M. 1994. Effect of two endomycorrhizal fungi on the rooting of plum tree and their interaction with indole butiric acid. pp. 38-39. *In:* Volume 4b. Commission III: Poster Sessions. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas Monter, M.C. González-Chávez y J.J. Almaraz-Suárez. 1996. Respuesta del portainjerto *Citrus volkameriana* tolerante al virus de la tristeza, a la inoculación endomicorrizica. p. 32. *In:* Programa y Resúmenes del 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrizica. Xalapa, Veracruz.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, J.J. Almaraz-Suárez y A. Villegas-Monter. 1997a. Distribución de carbohidratos y fósforo en la simbiosis *Citrus volkameriana-Glomus* spp. pp. 131. *In:* V. Ordaz-Chaparro, G. Alcántar G., C. Castro B. y M. Mejía P. (eds.). La investigación edafológica en México 1996-1997. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, J.J. Almaraz-Suárez y A. Villegas-Monter. 1997b. Efecto de la simbiosis micorrizica en naranja valencia injertada en *Citrus volkameriana-Glomus* spp. pp. 148. *In:* V. Ordaz-Chaparro, G. Alcántar G., C. Castro B. y M. Mejía P. (eds.). La investigación edafológica en México 1996-1997. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco.
- Allen, M.F., T.S. Moore y M. Christensen. 1980. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Cytokinin increases in the host plant. *Can. J. Bot.* 58: 371-374.
- Andrade, G., R.G. Linderman y G. Bethlenfalvay. 1998. Bacterial associations with the mycorrhizosphere and hyphosphere of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. p. 19. *In:* U. Ahoenon-Jonnarth, E. Danell, P. Franson, O. Karen, B. Lindahl, I. Rangel and R. Finlay (Compiladores). Programme and Abstracts of the Second International Conference on Mycorrhiza. July 5-10. Uppsala, Sweden.
- Azcón-Aguilar, C., A. Barcelo, M.T. Vidal y G. De la Viña. 1992. Further studies on the influence of mycorrhizae on growth and development of micropropagated avocado plants. *Agronomic* 12: 837-840.
- Bagyaraj, D.J. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhiza: Application in agriculture. Volume 24. pp. 359-373. *In:* Methods in microbiology. Academic Press Ltd., London.
- Bolan, 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134: 189-207.
- Botello G., J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1993. Respuesta de *Citrus aurantium* L. a la inoculación con hongos endomicorrizicos arbusculares utilizando diferentes dosis de inóculo. *Terra* 11: 178-184.

- Brundrett, M.C., Y. Piché y R.L. Peterson. 1985. A developmental study of the early stages in vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Can. J. Bot.* 63: 184-194.
- Calvet, C., J.Pera, V. Estaún y C. Camprubi. 1989. Vesicular-arbuscular mycorrhizae on kiwifruit in an agricultural soil: inoculation of seedlings and hardwood cuttings with *Glomus mosseae*. *Agronomie* 9: 181-185.
- Chang, D.C.N. 1994. What is the potential for management of vesicular-arbuscular mycorrhizae in horticulture? pp. 187-190. *In: A.D. Robson, L.K. Abbott y N. Malujczuk (eds.). Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry.* Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Dakessian, S., M.S. Brown y G.J. Bethlenfalvay. 1986. Relationship of mycorrhizal growth enhancement and plant growth with soil water and texture. *Plant Soil* 94: 439-443.
- Declerck, S., C. Plenchette y D.G. Strullu. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivars. *Plant Soil* 176: 183-187.
- Farias, L.J., L. Bayardo, I. Verduzco, M. Orozco y S. Guzmán. 1996a. Efecto de diferentes dosis de nematocida orgánico sobre la interacción micorrizica arbuscular y nemátodos agalladores (*Meloidogyne* sp.) en acerola. p. 16. *In: Programa y Resúmenes del 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrizica.* Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Farias, L.J., R. Martínez, S. Guzmán, G. López y A. Michel. 1996b. Efecto de la aplicación de herbicidas sobre la formación micorrizica arbuscular en plantas de maíz (*Zea mays* L.) crecidas en macetas. p. 24. *In: Programa y Resúmenes del 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrizica.* Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Feldman, F., C. Grotkass, C.Boyle y G.F. Bakhaus. 1998. Promotion of arbuscular mycorrhizal technology by quality control. p. 61. *In: U. Ahonen-Jonnarth, E. Danell, P. Franson, O. Karen, B. Lindahl, I. Rangel y R. Finlay (Compiladores). Programme and Abstracts of the Second International Conference on Mycorrhiza.* Uppsala, Sweden.
- Ferrera-Cerrato, R. y M.C. González-Chávez. 1994. Bioproducción de frutales a nivel de vivero. pp. 206-222. *In: 1a. Reunión Internacional de frutales nativos e introducidos con demanda nacional e internacional.* Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México.
- Ferrera-Cerrato, R. y M.C. González-Chávez. 1997. La biotecnología micorrizica en la producción agrícola, frutícola y hortícola. pp. 325-343. *In: J. Ruíz-Herrera, D. Guzmán de Peña y J.J. Peña-Cabriales (eds.). Perspectivas de la microbiología en México.* Instituto Politécnico Nacional. México.
- Gianinazzi, S. 1991. Vesicular-arbuscular (endo-)mycorrhizas: cellular, biochemical and genetics aspects. *Agric. Ecosystems Environ.* 35: 105-119.
- Gnekow, M.A. y H. Marschner. 1989. Role of VA-Mycorrhiza in growth and mineral nutrition of apple (*Malus pumila* var. domestica) rootstock cuttings. *Plant Soil* 119: 285-293.
- González-Cabrera, V.H., M.C. González-Chávez y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Efecto de la micorriza vesículo-arbuscular en plantas de capulín (*Prunus serotina* var. capuli). pp. 92-99. *In: J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Avances de Investigación Area de Microbiología de Suelos.* PROEDAF-Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- González Chavez, M.C. y R. Ferrera-Cerrato. 1990. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on tissue culture derived plantlets of strawberry. *HortSci.* 25: 903-905.
- González-Chávez, M.C. y R. Ferrera-Cerrato. 1993a. Manejo de la endomicorriza V-A en cinco portainjertos de cítricos. pp. 78-90. *In: J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Avances de Investigación Area de Microbiología de Suelos.* PROEDAF-Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- González-Chávez, M.C. y R. Ferrera-Cerrato. 1993b. Influencia de la endomicorriza vesículo-arbuscular en cuatro variedades de café. pp. 101-112. *In: J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Avances de Investigación Area de Microbiología de Suelos.* PROEDAF-Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- González Chavez, M.C., y R. Ferrera-Cerrato. 1994. Interacción de la micorriza V-A y la fertilización fosfatada en diferentes portainjertos de cítricos. *Terra* 12: 338-344.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1995. Sustratos e inoculación en el crecimiento de plántulas micropropagadas de citrange troyer. p. 67. *In: J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch. y R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1992-1995.* Memorias XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza en fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Guillemin, J.P., S. Gianinazzi y A. Trouvelot. 1992. Screening of arbuscular endomycorrhizal fungi for establishment of micropropagated pineapple plants. *Agronomie* 12: 831-836.
- Hernández-Meza, V., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1996a. Inoculación con hongos endomicorrizicos durante la aclimatación de tres portainjertos de cítricos micropropagados, tolerantes al virus de la tristeza. p. 31. *In: Programas y Resúmenes. 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrizica.* Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Hernández-Meza, V., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1996b. Efecto de la Inoculación endomicorrizica en el trasplante de tres portainjertos de cítricos micropropagados, tolerantes al virus de la tristeza. p. 30. *In: Programas y Resúmenes. 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrizica.* Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Hetrick, B.A.D. 1991. Mycorrhizas and root architecture. *Experientia* 47: 355-362.
- Hrselova, H., M. Gryndler y V. Vancura. 1989. Influence of inoculation with VA mycorrhizal fungus *Glomus* sp. on growth of strawberries and runner formation. *Agric. Ecosystems Environ.* 29: 193-197.
- Hudson, H. 1992. *Fungal biology.* Cambridge University Press. Great Britain.
- Jankiewicz, L.S. 1989. Desarrollo vegetal. Sustancias reguladoras. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Kormanik, P.P., R.C. Schultz y W.C. Bryan. 1982. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth and development of eight hardwood tree species. *For. Sci.* 28: 531-539.
- Lara, L., D. Trejo y M. Escalona. 1998. The response of *Carica papaya* L. to native mixture arbuscular mycorrhizal fungi

- inoculation. p. 105. In: U. Ahonen-Jonnarth, E. Danell, P. Franson, O. Karen, B. Lindahl, I. Rangel y R. Finlay (Compiladores). Programme and Abstracts of the Second International Conference on Mycorrhiza. Uppsala, Sweden.
- Linderman, R.G. 1993. Effects on microbial interactions in the micorrhizosphere of plant growth and health. pp. 138-152. In: R. Ferrera-Cerrato y R. Quintero L. (eds.). Agroecología, Sostenibilidad y Educación. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Linderman, R.G. y C.A. Call. 1977. Enhanced rooting of woody plant cuttings by mycorrhizal fungi. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 102: 629-632.
- Lovato, P., J.P. Guillemin y S. Gianinazzi. 1992. Application of commercial arbuscular endomycorrhizal fungal inoculants to the establishment of micropropagated grapevine rootstock and pineapple plants. *Agronomie* 12: 873-880.
- Lovato, P.E., V. Gianinazzi-Pearson, A. Trouvelot y S. Gianinazzi. 1996. The state of art of mycorrhizas and micropropagation. *Adv. Hort. Sci.* 10: 46-52.
- Malloch, D.W., K.A. Pirozynski y P.H. Haven. 1980. Ecological and evolutionary significance of mycorrhizal symbiosis in vascular plants (A review). *Proc. Natl. Acad. Sci.* 77(44): 2113-2118.
- Manjarrez M., M.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1996. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en dos especies hortícolas. p. 33. In: Programas y Resúmenes. 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrizica. Octubre 9-11. Xalapa, Veracruz.
- Manjarrez M., M.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1997. Micorriza arbuscular y dosis de vermicomposta en *Lactuca sativa* L. en invernadero. p. 147. In: V. Ordaz-Chaparro, G. Alcántar G., C. Castro B. y M. Mejía P. (eds.). La investigación edafológica en México 1996-1997. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco.
- Manjarrez M., M.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1998. Niveles de vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo de chile serrano (*Capsicum annuum* L.). p. 132. In: V. Ordaz-Chaparro y G. Alcántar G. (eds.). La investigación edafológica en México 1997-1998. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tapachula, Chiapas.
- Marschner, H. y B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. pp. 89-102. In: A.D. Robson, L.K. Abbott y N. Malujczuk (eds.). Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Morton, J.B. y S.P. Bentivenga. 1994. Level of diversity in endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes) and their role in defining taxonomic and non-taxonomic groups. pp. 47-59. In: A.D. Robson, L.K. Abbott y N. Malujczuk (eds.). Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Olalde, P.V. 1997. Fisiología de plantas micorrizadas. p. 51. In: Memorias del VI Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas.
- Perotto, S., V. Bianciotto, C. Corazza, R. Balestrini y P. Bonfante. 1998. Physical interactions of bacterial biofertilizers and biopesticides with arbuscular mycorrhizal fungi. p. 135. In: U. Ahonen-Jonnarth, E. Danell, P. Franson, O. Karen, B. Lindahl, I. Rangel y R. Finlay (Compiladores). Programme and Abstracts of the Second International Conference on Mycorrhiza. Uppsala, Sweden.
- Pons, F., V. Gianinazzi-Pearson, S. Gianinazzi y J.C. Navatel. 1983. Studies of VA mycorrhizae *in vitro*: mycorrhizal synthesis of axenically propagated wild cherry (*Prunus avium* L.) plants. *Plant Soil* 71: 217-221.
- Powell, C.L.P. y P. Santhanakrishnan. 1986. Effect of mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer on the growth of hardwood cuttings of kiwi (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) in containers. *N.Z.J. Agric. Res.* 29: 263-268.
- Quiñones, A.E.E., D. Trejo A., T. Aguas R., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González Ch. 1995. Respuesta de papaya (*Carica papaya* L.) a la inoculación con la endomicorriza arbuscular en tres sustratos. p. 96. In: J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch. y R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1992-1995. Memorias XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México.
- Rapparini, F., R. Baraldi, G. Bertazza, B. Branzanti y S. Predieri. 1994. Vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation of micropropagated fruit trees. *J. Hort. Sci.* 69: 1101-1109.
- Ravolanirina, F., B. Blal, S. Gianinazzi y V. Gianinazzi-Pearson. 1989a. Mise au point d'une méthode rapide d'endomycorhization de vitroplants. *Fruits* 44: 165-170.
- Ravolanirina, F., S. Gianinazzi, A. Trouvelot y M. Carre. 1989b. Production of endomycorrhizal explants of micropropagated grapevine rootstocks. *Agric. Ecosystems Environ.* 29: 323-327.
- Reich, L. 1988. Rates of infection and effects of five vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on apple. *Can. J. Bot.* 68: 233-239.
- Reyes A., J.C., A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 1997. Aspectos relacionados sobre el uso de la endomicorriza arbuscular en aguacate (*Persea americana* Mill). pp. 83-94. In: Memoria 1997 Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, México.
- Sánchez-Espindola, M.E., M.C. González Chávez., R. Ferrera-Cerrato y D. Téliz-Ortiz. 1993. Inducción del vigor en plántulas de *Carica papaya* L. bajo el efecto de la micorriza vesículo-arbuscular *Glomus* sp. como factor de desarrollo. pp. 124-133. In: J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.) Avances de Investigación, Area de Microbiología de Suelos. PROEDAF-Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Schellenbaum, L., G. Berta, F. Ravolanirina, B. Tisserant, S. Gianinazzi y H.Fitter. 1991. Influence of endomycorrhizal infection on root morphology in a micropropagated woody plant species (*Vitis vinifera* L.). *Annals of Botany* 68: 135-141.
- Schubert, A., C. Bodrino e I. Gribaudo. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) micropropagated plants. *Agronomie* 12: 847-850.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystem. Technical Cooperation. Eschborn, GTZ, Federal Republic of Germany.
- Smith, D.C. y A.E. Douglas. 1987. The biology of symbiosis. Edward Arnold Publishers. London.
- Smith, S.E. y V. Gianinazzi-Pearson. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 221-244.

- Smith, S.E., V. Gianinazzi-Pearson, R. Koide y J.W.G. Cairney. 1994. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. pp. 103-113. In: A.D. Robson, L.K. Abbott y N. Malujczuk (eds.). Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Sylvia, D.M. y A.G. Jarstfer. 1994. Production of inoculum and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. pp. 231-238. In: A.D. Robson, L.K. Abbott y N. Malujczuk (eds.). Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Trejo A., D. y R. Ferrera-Cerrato. 1997. Ecología de la endomicorriza arbuscular en diferentes agroecosistemas productores de café. p. 52. In: Memorias del VI Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas.
- Varela F., L. 1997. Avances en la taxonomía de los hongos micorrizicos arbusculares. p. 50. In: Memorias del VI Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas.
- Vázquez F., P.V., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1996. Enraizamiento de estacas de cítrange carrizo y mandarina cleopatra con diferentes dosis de ácido indol 3-butírico y dos cepas endomicorrízicas arbusculares. p. 20. In: Programas y Resúmenes. 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Velasco, V.J., J.J. Almaraz-Suárez y R. Ferrera-Cerrato. 1996. Inoculación con endomicorriza arbuscular y adición de vermicomposta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Programa y Resúmenes del 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Vestberg, M. 1992. Arbuscular mycorrhizal inoculation of micropropagated strawberry and field observations in Finland. *Agronomie* 12: 865-867.
- Vestberg, M. y V. Estaún. 1994. Micropropagated plants, an opportunity to positively manage mycorrhizal activities. pp. 217-226. In: S. Gianinazzi y H. Schüepp (eds.). Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems. Birkhäuser Verlag Basel/Switzerland.
- Vosatka, M., M. Gryndler y Z. Prinkryl. 1992. Effect of the rhizosphere bacterium *Pseudomonas putida*, arbuscular mycorrhizal fungi and substrate composition on the growth of strawberry. *Agronomie* 12: 859-863.
- Walker, C. 1992. Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales) - a possible way forward. *Agronomie* 12: 887-897.
- Weaver, R.J. 1987. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Edit. Trillas. México, DF. 5a. Reimpresión. pp. 143-172.
- Williams, S.C.K., M. Vestberg, M. Uosukainen, J.C. Dodd y P. Jeffries. 1992. Effects of fertilizers and arbuscular mycorrhizal fungi on the post-vitro growth of micropropagated strawberry. *Agronomie* 12: 851-857

# PAPEL DE LA NUTRICION MINERAL EN LA TOLERANCIA A LAS ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS

## Role of Mineral Nutrition on Plant Disease Tolerance

Vicente Arturo Velasco Velasco<sup>1</sup>

### RESUMEN

La nutrición mineral de las plantas, considerada como un factor exógeno, puede manejarse fácilmente. Esta característica constituye un punto fundamental complementario a una serie de actividades que el hombre realiza para hacer frente a las enfermedades y obtener productos que le beneficien. Los nutrientes influyen en el crecimiento y la supervivencia de los patógenos, en la predisposición, tolerancia y resistencia de las plantas. De igual forma, las enfermedades causadas por virus alteran a los nutrientes en su absorción, translocación y concentración en las plantas. Sin embargo, las plantas enfermas desarrolladas con una nutrición balanceada pueden resistir más el efecto de los patógenos, lo cual se traduce en un mejor desarrollo y rendimiento de la propia planta. El efecto que puede causar un nutriente en las plantas enfermas por virus depende de la especie y etapa fenológica de la planta, el tipo de virus, las condiciones ambientales, el manejo del cultivo y la disponibilidad de nutrientes.

*Palabras clave:* Nutrición mineral, fitopatógenos, virus.

### SUMMARY

The mineral nutrition of the plants, considered an exogenous factor, can easily be handled. This characteristic constitutes a complementary fundamental point of a series of activities that men perform to face the diseases and to obtain products that benefit him. The nutrients had influence on growth and survival of the pathogens, the predisposition, tolerance, and resistance of the plants. The diseases caused by

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23, Exhacienda de Nazareno Xoxocotlán, Apartado Postal 273, 68000 Oaxaca, Oaxaca. e-mail: vicentvelascov@latinmail.com

Recibido: Febrero de 2000.

Aceptado: Junio de 2000.

virus alter nutrient absorption, translocation, and plant concentration. Nevertheless, ill plants developed under balanced nutrition can resist deleterious effect of pathogens, having as a result a better development and yield of the own plant. The effect of a nutrient in viral ill plants depends on plant species and phenological stage, virus type, environmental conditions, crop management, and nutrient availability.

*Index words:* Mineral nutrition, phytopathogens, virus.

### INTRODUCCION

El manejo nutrimental a través de la fertilización es un control cultural importante en las enfermedades de las plantas y un componente integral de la producción agrícola (Huber, 1989; Fageria *et al.*, 1997). Las plantas que reciben una nutrición mineral balanceada son más tolerantes a las enfermedades; es decir, tienen mayor capacidad para protegerse de nuevas infecciones y de limitar las ya existentes, que cuando uno o más nutrientes son abastecidos en cantidades excesivas o deficientes. Es evidente que la severidad de muchas enfermedades de las plantas puede reducirse mediante control químico, biológico y genético, e incrementarse con la propia nutrición (Huber, 1989).

Los nutrientes pueden, además, incrementar o disminuir la resistencia o tolerancia de los cultivos a los patógenos. La resistencia es la habilidad del huésped para limitar la penetración, el desarrollo y/o reproducción del patógeno invasor, así como limitar la alimentación de las plagas. La tolerancia es la capacidad del huésped para mantener su crecimiento, no obstante la presencia de infección o ataque de plagas (Marschner, 1995).

La resistencia puede ser incrementada por cambios en la anatomía (por ejemplo, células epidermales gruesas con alto grado de lignificación y/o silificación) y en las propiedades fisiológicas y bioquímicas (por ejemplo, alta producción de inhibidores o sustancias repelentes). La resistencia puede particularmente

incrementarse cuando la planta responde al ataque de parásitos a través de la formación de barreras mecánicas (lignificación) y la síntesis de toxinas (fitoalexinas) (Marschner, 1995).

### Enfermedades Causadas por Deficiencias Minerales

La deficiencia o exceso de nutrimentos esenciales causa enfermedades, las cuales generalmente se corrigen mediante el suministro o reducción de su concentración. Los tipos de síntomas dependen principalmente de las funciones que desempeña cada nutrimento en la planta (Huber, 1978).

El diagnóstico de las enfermedades a causa de deficiencias minerales es complicado debido a que: 1) la reducción del crecimiento y la calidad pueden ocurrir por causas diversas, 2) algunos elementos pueden inducir diferentes síntomas en diferentes plantas y en diversas condiciones ambientales, 3) síntomas similares o idénticos pueden resultar de las deficiencias de algunos de los elementos. No siempre es posible diferenciar cuándo una enfermedad es ocasionada por algún parásito o sin él, ya que los parásitos pueden dañar la absorción, translocación o utilización de los nutrimentos. Esto es, algunos síntomas asociados con problemas patológicos son similares a los ocasionados por deficiencias minerales como achaparramientos, clorosis, marchitamientos, moteados, formación de rosetas, muerte temprana, manchas en las hojas y crecimiento anormal. El incremento de aminoácidos, auxinas y otros materiales asociados con patógenos son también manifestaciones de deficiencias minerales específicas. La deficiencia de potasio, por ejemplo, causa acumulación de compuestos solubles nitrogenados resultando manchas necróticas en las hojas, similares a los síntomas producidos por patógenos foliares. El achaparramiento, enrosetamiento y el efecto del bronceado del zinc son síntomas comunes de infección de virus y pueden ser corregidos por adición de zinc (Huber, 1978; 1981).

### Deficiencias Minerales Causadas por Patógenos

Factores fisiológicos y patológicos que ocasionan un disturbio en la nutrición mineral, pueden tener un mecanismo común de acción. La absorción de minerales y su organización en nuevas sustancias vitales permiten el crecimiento, multiplicación y

reproducción. El problema patogénico de alterar la nutrición mineral reside en la imposibilidad de satisfacer una necesidad específica adecuada. Resulta evidente que la interferencia que ocasionan los patógenos sobre el movimiento ascendente del agua y los nutrimentos inorgánicos, o sobre el movimiento descendente de las sustancias orgánicas, ocasionará la enfermedad (por deficiencia) de las partes de la planta que carezcan de esos nutrimentos; esto se refleja en una disponibilidad alterada de nutrimentos para la utilización de la célula, la cual puede tener graves consecuencias en su metabolismo general (Huber, 1978; Agrios, 1985). Los hongos ocasionan inmovilización de los nutrimentos; los nematodos alteran la solubilización, absorción y distribución de ellos; las bacterias alteran la translocación, distribución, la demanda y la eficiencia metabólica; y los virus afectan la absorción, translocación y concentración de ellos en la planta.

Tschen *et al.* (1983), en pasto Pangola cultivado en solución nutritiva de Hoagland e infectado con virus Stunt Pangola, encontraron que la infección causó la deficiencia de K, Ca y B, debilitamiento de los tallos, desarreglo del sistema vascular (floema y xilema) y, en general, detención del crecimiento y enrosetamiento de las hojas.

Hayasaka *et al.* (1989), en plantas de remolacha azucarera infectadas con el Virus Veteado Amarillo Necrótico de la Remolacha (BNYVV), encontraron inhibición de la absorción de nutrimentos al haber deficiencias de K, Ca y Fe en las hojas. El contenido de azúcar también disminuyó entre 6 y 27 % en comparación con las plantas sanas.

Pennazio y Roggero (1993) observaron que el Virus Necrosis del Tabaco (TNV), en plantas de soya, provocó disminución en la concentración de nutrimentos en las hojas. Dicha disminución se expresó como enrollamiento de las hojas primarias y detención del crecimiento de los tallos.

### Ambiente Nutrimental

La nutrición de las plantas puede ser drásticamente alterada por muchos patógenos y es frecuentemente difícil diferenciar entre los factores bióticos (Balachandran *et al.*, 1997) y abióticos que interactúan para ocasionar una deficiencia o exceso nutrimental (Bergman y Boyle, 1962). Un cambio en cualquier factor del ambiente puede favorecer al huésped, al

patógeno o a ambos, e incluso puede favorecer más a uno que al otro, por lo que el curso de una enfermedad se verá afectada de acuerdo con ellos (Agrios, 1985).

El ambiente nutrimental dado por el huésped es especialmente crítico para los parásitos obligados. La concentración y el tamaño de muchos virus es proporcional al estado de crecimiento del huésped. Los excesos y deficiencias minerales reducen el crecimiento vegetativo y pueden reducir la concentración de virus en los tejidos, por lo tanto, los períodos más intensos para la síntesis de virus corresponden a la máxima deficiencia de proteínas en tejidos de las plantas, debido a que los virus se apropian de los nutrimentos preferenciales del huésped (Huber, 1980). La suma de interacciones entre patógeno, huésped, ambiente y tiempo, determina cómo una enfermedad es afectada por la nutrición (Figura 1).

La multiplicación de los virus sólo se realiza en exclusiva de células vivas, y sus requerimientos nutrimentales se restringen a aminoácidos y nucleótidos. Como una regla general, los factores nutrimentales favorecen el crecimiento de la planta además de favorecer la multiplicación viral.

### Nutrición Mineral y Enfermedades Causadas por Virus

La influencia de la nutrición mineral sobre las enfermedades virales en las plantas ha sido poco

estudiada. La gran mayoría de los trabajos se han dirigido más bien a estudiar la relación y competitividad entre los virus y los ácidos nucleicos y proteínas constitutivas de éstos (Martin, 1976; Kaplan y Bergman, 1985).

Muchos de los elementos minerales, requeridos por la planta para su crecimiento, incrementan o disminuyen la severidad de algunas enfermedades (Cuadro 1). Los efectos de N, P y K en las enfermedades son los más reportados, debido a su limitada disponibilidad en muchos suelos y a la gran cantidad requerida por las plantas (Huber, 1980; 1981). Varias de las funciones de los micronutrimentos en las reacciones metabólicas relacionadas con la resistencia de las enfermedades, sobre todo virales, aún no se determinan (Marschner, 1995). Graham (1983) menciona que el conocimiento de los efectos de los elementos Li, Cr, Ni, Pb, F, Si, Cd y Al sobre las enfermedades permitirá de alguna forma descubrir mecanismos de resistencia en las plantas y que, además, podrá considerarse como una forma de control biológico.

### Nitrógeno

El N ha sido intensamente estudiado en relación a la nutrición del huésped y a la severidad de las enfermedades, debido a que es esencial para el crecimiento de las plantas, a su limitada

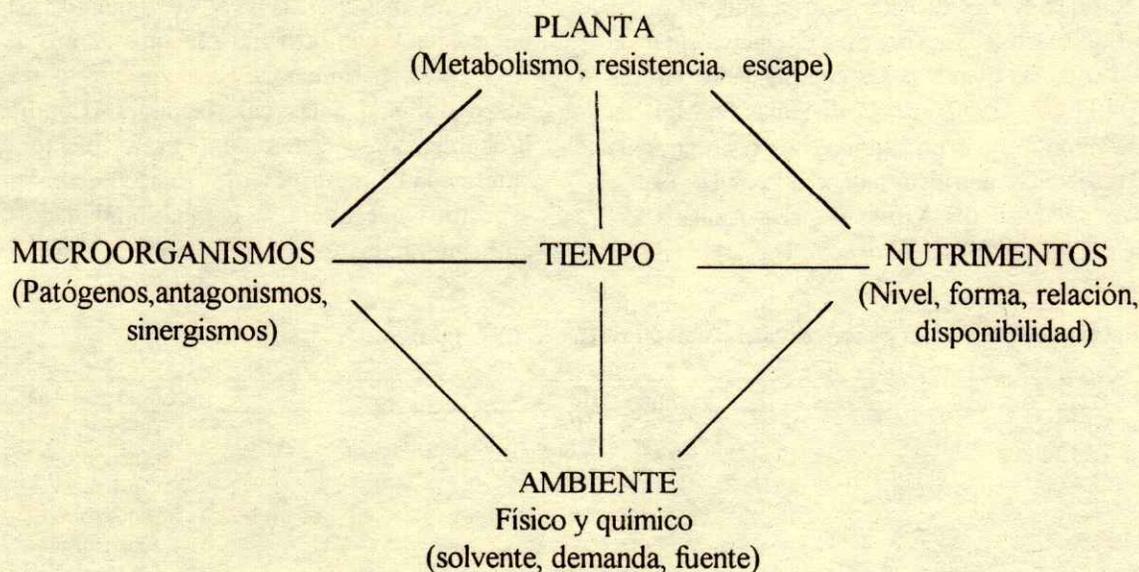


Figura 1. Interacciones dinámicas que influyen en la manifestación de las enfermedades (Huber, 1989).

**Cuadro 1. Reporte de algunas interacciones entre nutrientes y enfermedades causadas por virus (Huber, 1980).**

Patógeno	Huésped	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	P	K	Mg	Mn	Fe	Zn	B
Virus-1 del Pepino	Espinaca	I		I	I					
Virus X de la Papa	Tabaco y tomate		D					I	D	D
Virus Mosaico del Tabaco	Tabaco, tomate y frijol		I	±		D	D	D	±	

I = incremento de la enfermedad; D = decremento de la enfermedad; ± = el efecto de la enfermedad depende de las condiciones del huésped y del medio.

**Cuadro 2. Efecto de las formas inorgánicas del nitrógeno en plantas con enfermedad viral (Huber y Watson, 1974).**

Patógeno	Huésped	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Virus Y de la Papa	Tabaco		Incremento
Virus Y de la Papa	<i>Solanum tuberosum</i>		Decremento
Virus Mosaico del Tomate	<i>Nicotiana glutinosa</i>	Incremento	Decremento
Virus Mosaico del Tomate	Tabaco	Incremento	Decremento
Virus Mosaico del Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>		Decremento
Virus X de la Papa	<i>Solanum tuberosum</i>		Decremento

disponibilidad en el suelo y a su efecto en el tamaño y grosor de la pared celular. La forma disponible más que la cantidad de N determina la severidad de la enfermedad (Cuadro 2) (Huber y Watson, 1974).

### Fósforo

El fósforo y el potasio, en general incrementan la resistencia contra las enfermedades, aunque este efecto es mayor para el potasio. Las aplicaciones de P reducen las enfermedades en semillas, así como enfermedades fungosas en la raíz, al estimular un desarrollo vigoroso que permite a las plantas evadir las enfermedades (Huber, 1980). Puesto que el P es esencial para la multiplicación de los virus, un exceso de éste puede incrementar la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades virales (Cuadro 3) (Huber, 1980; 1981). Thomas y McLean (1967) observaron que con un bajo nivel de concentración de P en la solución nutritiva balanceada hubo menor expresión de síntomas del Virus Mancha Anillada del Tabaco en calabacita (*Cucurbita pepo* L.) y cuando se

mantuvo en cantidades normales observaron un incremento en la expresión de síntomas.

Campillo *et al.* (1981) estudiaron el efecto de la fertilización N P K en plantas de papa infestadas con el virus del enrollamiento de la hoja de la papa (PLRV); encontraron que en ausencia de P el rendimiento disminuyó 40 % y 70 %. En presencia de PLRV el rendimiento disminuyó más de 50 % en comparación con las plantas sanas.

### Potasio

La compleja relación de la nutrición del K con las funciones metabólicas y el crecimiento, así como su interrelación con otros nutrientes dentro de la planta y el suelo, permiten al K modificar la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades (Cuadro 4). El K probablemente ejerza un gran efecto sobre la enfermedad, a través de una función metabólica específica que altera la compatibilidad de la relación ambiental parásito-huésped (Huber y Arny, 1985).

**Cuadro 3. Influencia del fósforo en las plantas enfermas de virus (Huber, 1980, 1981).**

Patógeno	Huésped	Efecto del fósforo
Virus Mosaico del Tabaco	Frijol	Decremento
Virus Mosaico del Tabaco	Tomate	Incremento
	Tabaco	Incremento
	<i>Nicotiana glutinosa</i>	Incremento
Virus-1 del Pepino	Espinaca	Incremento
	<i>Nicotiana glutinosa</i>	Incremento
	<i>Nicotiana multivalvis</i>	Incremento
Virus Mosaico Amarillo del Tabaco	Tabaco	Incremento

Cuadro 4. Influencia del K en plantas enfermas de virus (Huber y Arny, 1985).

Patógeno	Huésped	Efecto del potasio
Virus Mosaico del Tabaco	Frijol	Decremento
Virus Enanismo Amarillo de la Cebada	Cebada	Decremento
	Avena	Incremento
Virus Enrollamiento de la hoja del Chicharo	Chicharo	Decremento
Virus Mosaico de la Papa	Papa	Decremento
Virus Enrollamiento de la hoja de la Papa	Papa	Decremento
Virus Y de la Papa	Papa	Ninguno
Virus-1 del Pepino	Espinaca	Incremento
Virus Mancha Amarilla del Tabaco	Calabacita	Decremento
Virus Mosaico del Tabaco	Tabaco	Decremento
Virus Mosaico del Tabaco	Tomate	Decremento
Virus Mosaico Amarillo del Tabaco	Tabaco	Decremento

### Algunos Ejemplos en México

Velasco (1990), en parcelas de los Valles Centrales de Oaxaca, observó que la fertilización creciente en plantas de chile de agua aumentó el porcentaje de plantas enfermas por el enchinamiento o mosaico (Figura 2) causado por un geminivirus (Guichard

y Ruiz, 1996); esto se atribuyó a que el suministro de fertilizantes permitió a la planta alcanzar un vigor vegetativo que favoreció el desarrollo de la enfermedad; en cambio, cuando el vigor vegetativo fue deficiente, la incidencia de la enfermedad en la planta disminuyó. El rendimiento de frutos (en fresco) incrementó a medida que se aumentó la fertilización

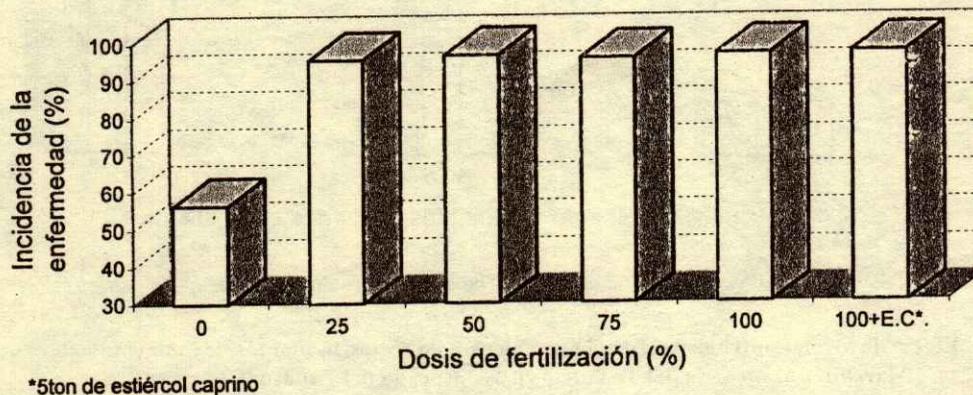


Figura 2. Efecto de la fertilización N P K sobre la incidencia del chino o mosaico en el cultivo de chile de agua (Velasco, 1990).

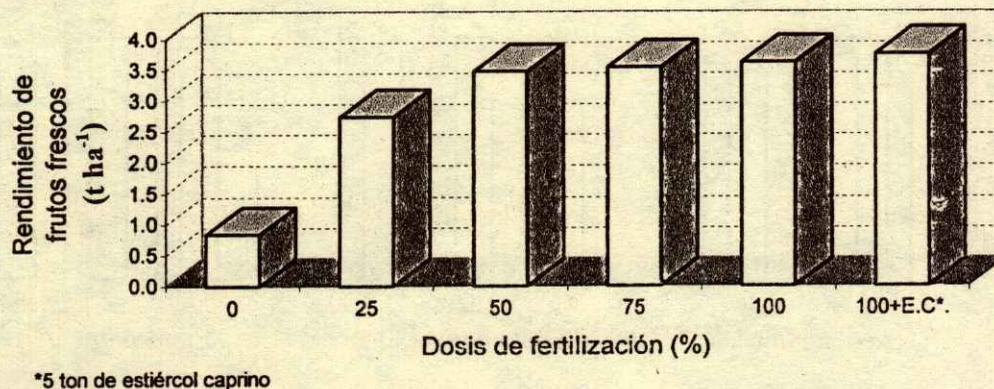
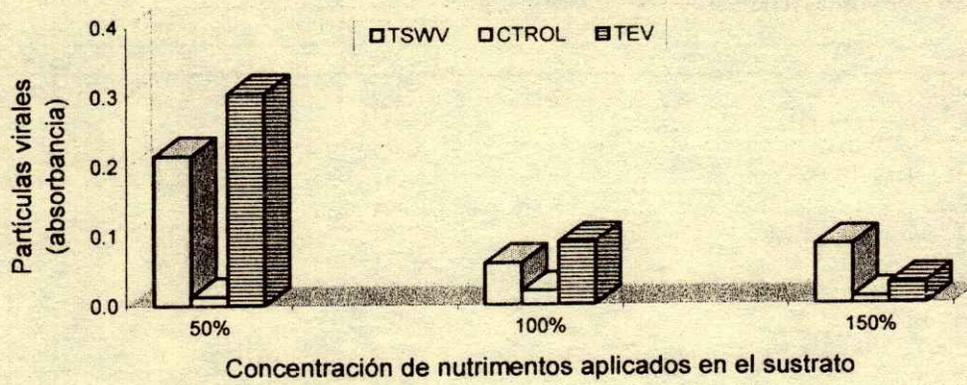
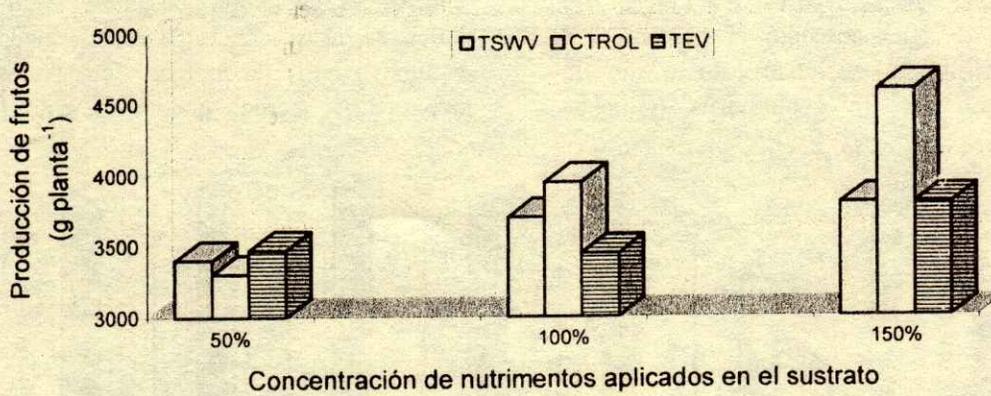


Figura 3. Efecto del N P K sobre el rendimiento de frutos frescos en el cultivo de chile de agua (Velasco, 1990).



TSWV = Virus Marchitez Manchada del Tomate. TEV = Virus Jaspeado del Tabaco

Figura 4. Efecto de niveles nutrimentales en la concentración de partículas virales en plantas de tomate (González, 1996).



TSWV = Virus Marchitez Manchada del Tomate. TEV = Virus Jaspeado del Tabaco

Figura 5. Efecto de niveles nutrimentales en la producción de frutos en plantas de tomate infectadas del virus Marchitez Manchada del Tomate o virus Jaspeado del Tabaco (González, 1996).

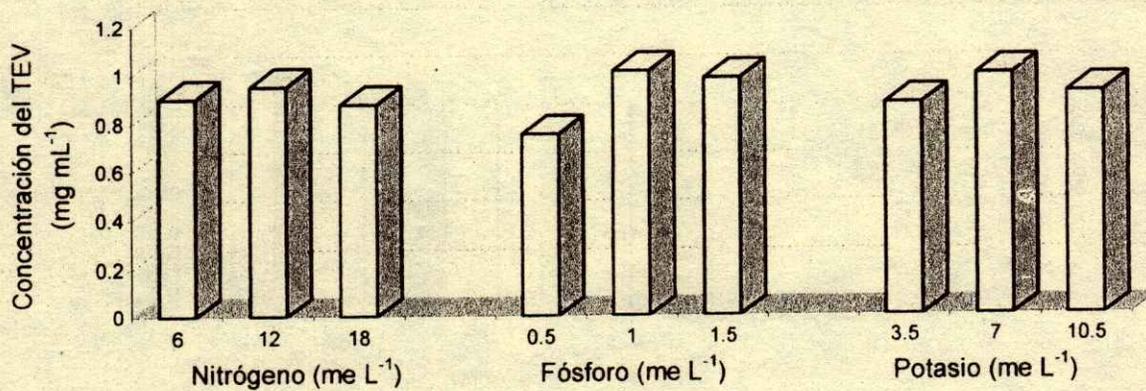


Figura 6. Efecto del N P K en la concentración del virus Jaspeado del Tabaco en plantas de chile jalapeño (Velasco, 1998, datos no publicados).

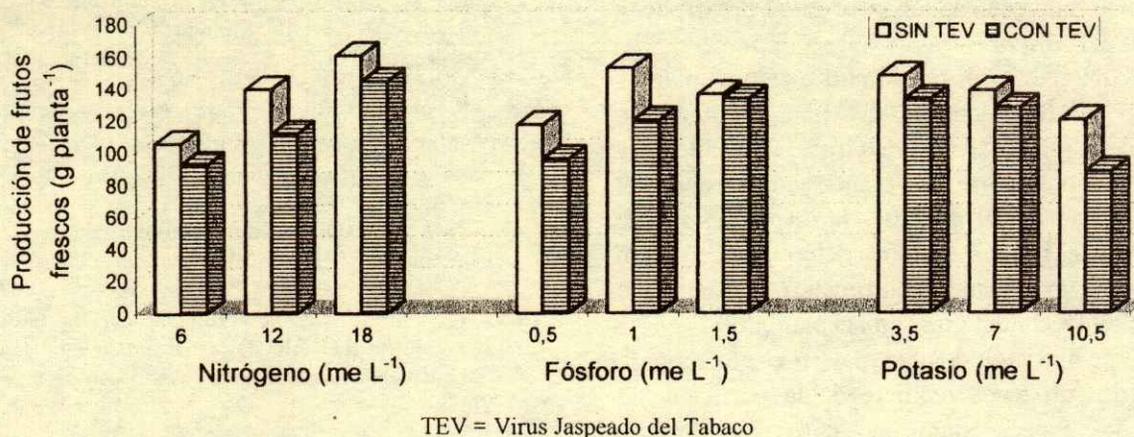


Figura 7. Efecto del N P K en la producción de frutos frescos en plantas de chile jalapeño sanas y con virus Jaspeado del Tabaco (Velasco, 1998, datos no publicados).

(Figura 3), sin embargo, se abatió cerca de 50 % del rendimiento promedio por efecto de la enfermedad.

González (1996) trabajó con plantas de tomate infectadas con el Virus Jaspeado del Tabaco (TEV) y el Virus Marchitez Manchada del Tomate (TSWV), en tres concentraciones nutrimentales (50, 100 y 150 %) en hidroponía e invernadero. Observó que la deficiencia de nutrientes favoreció la acumulación de partículas virales en los tejidos de las plantas (Figura 4); esto es, en una concentración nutrimental baja, las plantas fueron afectadas más severamente, quizás debido a la poca producción de células nuevas. En las plantas que recibieron alta concentración nutrimental, la producción de células nuevas en las etapas de crecimiento probablemente fue mayor, lo que permitió que ocurriera dilución de las partículas virales, debido a que la producción de células nuevas fue más rápida que la replicación de los virus, resultando en una menor severidad de los daños. González (1996) encontró la mayor producción de frutos en plantas sanas (Figura 5); en cambio, en plantas infectadas la producción de frutos disminuyó; pero ésta aumentó en forma proporcional a la concentración nutrimental. Lo anterior demuestra la tolerancia de las plantas infectadas con el TEV o TSWV, manejando adecuada y oportunamente los niveles nutrimentales que las plantas de tomate requieren.

Velasco (1998, datos no publicados), en plantas de chile jalapeño sanas e inoculadas con el TEV, en hidroponía e invernadero, encontró que cuando se

suministró N, P y K a las plantas con TEV, la concentración del virus aumentó al pasar del primer al segundo nivel de cada elemento (Figura 6). Al pasar al tercer nivel de cada elemento la concentración viral disminuyó. Las mayores concentraciones del TEV fueron: 0.95 mg mL<sup>-1</sup> con 12 me L<sup>-1</sup> de N, 1.01 mg mL<sup>-1</sup> con 1 me L<sup>-1</sup> de P, y 0.99 mg mL<sup>-1</sup> con 7 me L<sup>-1</sup> de K. Los resultados mostraron que el P juega un papel importante en la multiplicación del TEV y en segundo lugar el K. El efecto del N fue menos evidente. También observó que la producción de frutos frescos aumentó a medida que se incrementó el suministro de N y P. Por el contrario, con el suministro creciente de K, el rendimiento de frutos frescos disminuyó. Lo anterior ocurrió tanto en plantas sanas como en plantas inoculadas (Figura 7). Las plantas sanas siempre mostraron mayor producción de frutos frescos que las plantas con TEV. La presencia del virus disminuyó significativamente (14 %) la producción de frutos frescos.

## CONCLUSIONES

Puesto que la capacidad de las plantas a defenderse está influenciada por su vigor y estado fenológico, muchos mecanismos participes en la interacción nutriente-patógeno-huésped aún no están claramente definidos. No obstante, se deduce que:

1. Los virus afectan la asimilación, translocación y concentración de los elementos esenciales en las plantas.

2. Los nutrimentos permiten soportar en mayor o menor medida, el efecto de los virus en el desarrollo y rendimiento del cultivo.

3. El efecto que puede causar un nutrimento en plantas enfermas por virus, depende del tipo y estado de desarrollo de la planta, el tipo de virus, las condiciones ambientales tanto para la planta como para el patógeno, el manejo del cultivo y la disponibilidad de los nutrimentos. Dichos factores determinan en gran medida que un mismo nutrimento estimule o contrarreste el efecto del virus en las plantas.

El tema de nutrición de plantas y su efecto sobre la incidencia de patógenos requiere de la participación conjunta de especialistas en nutrición vegetal, fitopatología, genética, entomología y otros, para entender y explicar los fenómenos de respuesta que existen al respecto, evitar la interpretación aislada y establecer conclusiones más completas.

### LITERATURA CITADA

- Agrios, N.G. 1985. Fitopatología. Trad. por M. Guzmán O. Editorial Trillas. Méx.
- Balachandran, S., V.M. Hurry, S.E. Kelley, C.B. Osmond, S.A. Robinson, J. Rohozinski, G.G.R. Seaton y D.A. Sims. 1997. Concepts of plant biotic stress. Some insights into the stress physiology of virus-infected plants, from the perspective of photosynthesis. *Physiol. Plant.* 100: 203-213.
- Bergman, E.L. y J.S. Boyle. 1962. Effect of tobacco mosaic virus on the mineral content of potato leaves. *Phytopathology* 52: 956-957.
- Campillo R., R., C. Quezada L. y A. Aguila C. 1981. Incidencia del virus del enrollamiento de la hoja de la papa en la respuesta a la fertilización NPK. *Agricultura Técnica* 41: 25-29.
- Fageria, N.K., V.C. Baligar y Ch.A. Jones. 1997. Growth and mineral nutrition of fields crops. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc. New York.
- González R., M. 1996. Efecto de niveles nutrimentales en las infecciones de los virus Marchitez Manchada del Tomate y Jaspeado del Tabaco en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.
- Graham, R.D. 1983. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. pp. 221-276. *In: H.W. Woolhouse (ed.). Advances in Botanical Res.* Vol. 10. Academic Press, London, UK.
- Guichard, V.J.G. y D. Ruiz G. 1996. Diagnóstico del agente causal del enchinamiento en el chile de agua (*Capsicum annum* L.). Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23, ex-hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oax., México.
- Hayasaka, M., H. Uchino, E. Imura y K. Kanzawa. 1989. Content of sugar and mineral nutrient of sugar beets (*Beta vulgaris*), classified by type of rhizomania symptoms. *Proc. Sugar Beet Res. Assoc.* 30: 92-99.
- Huber, D.M. 1978. Disturbed mineral nutrition. pp. 163-181. *In: J.G. Horsfall y E.B. Cowling (eds.). Plant disease and advanced treatise.* Vol. 3. Academic Press, New York.
- Huber, D.M. 1980. The role of mineral nutrition in defense. pp. 386-406. *In: J.G. Horsfall y E.B. Cowling (eds.). Plant disease and advanced treatise.* Vol. 5. Academic Press, New York.
- Huber, D.M. 1981. The use of fertilizers and organic amendments in the control of plant disease. pp. 357-394. *In: D. Pimentel (ed.). CRC Handbook of pest management in agriculture.* Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Fl.
- Huber, D.M. 1989. Introduction. pp. 1-8. *In: A.W. Engelhard (ed.). Soilborne plant pathogen: management of disease with macro and microelements.* APS Press. St. Paul, Minnesota.
- Huber D.M. y Army. 1985. Interactions of potassium with plant disease. pp. 467-488. *In: R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture.* Madison, Wisconsin, USA.
- Huber D.M. y R.D. Watson. 1974. Nitrogen form and plant disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* 12: 139-165.
- Kaplan, C.R. y E.L. Bergman. 1985. Virus infection and nutrient elemental content of the host plant: a review. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 16: 439-465.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press, London.
- Martin, C. 1976. Nutrition and viruses disease of plants. Fertilizer use and plant health. *Proc. Colloq. Potash Inst.* 12: 193-200.
- Pennazio, S. y P. Roggero. 1993. The hypersensitive reaction of soybean cultivars to Tobacco Necrosis Virus does not induce systemic resistance but inhibits plant growth. *J. Plant Phytopathol.* 138: 118-124.
- Thomas, J.R. y D.M. McLean. 1967. Growth and mineral composition of squash (*Cucurbita pepo* L.) as affected by N P K and tobacco ring spot virus. *Agron. J.* 59: 67-69.
- Tschen, J.S., S.Y. Liao y C.T. Hsieh. 1983. Stunted growth and stunt disease of Pangola grass in relation to nutrient requirement. *J. Agric. Assoc. China* 125: 72-83.
- Velasco V., V.A. 1990. Efecto de algunos nutrimentos sobre plantas de chile de agua (*Capsicum annum* L.) aparentemente enfermas de virus en Valles Centrales de Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

# ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LAS ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS

## Management Alternatives for Plant Diseases

E. Zavaleta-Mejía<sup>1</sup>

### RESUMEN

El principal método de manejo de plagas y enfermedades de los cultivos ha sido el control químico; pero, problemas tanto de contaminación ambiental, que han impactado negativamente en la biodiversidad de los agroecosistemas, como de seguridad y salud pública, inherentes a la fabricación y uso inadecuado de los agroquímicos, ha conducido a la búsqueda y desarrollo de alternativas ecológicas. La solarización y acolchado mediante el uso de plásticos degradables; la rotación y asociación de cultivos, preferentemente utilizando plantas con propiedades antagonistas; la incorporación al suelo de residuos de plantas que durante su descomposición liberan compuestos nocivos a los fitopatógenos con origen en el suelo; la incorporación al suelo de materia orgánica que favorece la actividad antagónica de la biota habitante del suelo; la aplicación de microorganismos antagonistas; la aplicación de cubiertas epidérmicas (antitranspirantes) para proteger a los cultivos de algunas enfermedades foliares; y la fitomineraloterapia, son algunas alternativas ecológicas cuya eficacia ha sido probada.

*Palabras clave:* Acolchado, control biológico, control ecológico, fitomineraloterapia, solarización.

### SUMMARY

The principal method for controlling crop pests and diseases has been through the use of chemicals. But, problems of environmental contamination which have adversely affected the biodiversity in agroecosystems, as well as health and public safety problems inherent to the production and inadequate use of agrochemicals, have led to the search for and implementation of ecological alternatives. Soil solarization and soil mulching with degradable plastics; crop rotation and

crop association (intercropping), preferable utilizing plants with antagonistic properties; soil incorporation of plant residues which during their decomposition emanate noxious compounds to soil borne plant pathogens; incorporation into the soil of organic matter which favors the antagonistic activity of the soil biota; application of antagonistic microorganisms; application of epidermal coating materials (antitranspirants) to protect the crops from some foliar diseases; and phytomineralotherapy, are some ecological alternatives which efficacy has been proven.

*Index words:* Soil mulching biological control, ecological control, phytomineralotherapy, solarization.

### INTRODUCCION

En la agricultura moderna, se ha soslayado la sostenibilidad de la productividad agrícola. El uso de agroquímicos ha permitido obtener incrementos substanciales en la producción; no obstante, sus efectos adversos están impactando de manera significativa la sostenibilidad de la agricultura. La práctica del monocultivo y la contaminación por el uso indiscriminado de agroquímicos han reducido la biodiversidad de los agroecosistemas, causando la inestabilidad de los mismos, la cual se manifiesta, entre otros efectos nocivos, en una mayor incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos. Esto y los problemas de seguridad y salud pública inherentes a la fabricación y uso de agroquímicos han conducido a la búsqueda y establecimiento de alternativas de manejo de plagas y enfermedades. Así, surge el interés por el control ecológico que puede definirse como: "cualquier forma de control que reduce la incidencia o severidad de la enfermedad, o incrementa la producción del cultivo, aun cuando no haya aparentemente un efecto significativo en la reducción de la enfermedad o inóculo, y su impacto nocivo en el ambiente sea mínimo o nulo" (Zavaleta-Mejía, 1994).

Sin embargo, un manejo de las enfermedades de nuestros cultivos que sea ambientalmente sano y racional se podrá lograr primero, aceptando que nuestro objetivo principal no debe de ser el de

<sup>1</sup> Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Edo. de México, México.

Recibido: Febrero de 2000.

Aceptado: Junio de 2000.

eliminar al patógeno responsable de la enfermedad sino más bien que a pesar de su presencia logremos obtener rendimientos económicamente redituables para el agricultor; y segundo, entendiendo más acerca de la naturaleza de la enfermedad y de la fisiología de la planta.

El uso de variedades resistentes; fechas de siembra; la solarización y acolchado (arropamiento) del suelo mediante el uso de plásticos degradables; la rotación y asociación de cultivos, preferentemente al utilizar plantas con propiedades antagonistas; la incorporación al suelo de residuos de plantas que durante su descomposición liberan compuestos nocivos a los fitopatógenos con origen en el suelo; la incorporación al suelo de materia orgánica que favorece la actividad antagónica de la biota habitante del suelo; la aplicación de organismos antagonistas; la aplicación de cubiertas epidermales (antitranspirantes) para proteger a los cultivos de algunas enfermedades foliares; y la fitomineraloterapia, son alternativas ecológicas cuya eficacia ha sido probada desde el punto de vista práctico y económico. A continuación se presentan algunos ejemplos de control ecológico.

### Plantas Antagonistas

En la naturaleza existe una gama muy amplia de plantas que producen una diversidad de metabolitos secundarios tóxicos, tal característica les permite a estas plantas actuar como antagonistas de patógenos bióticos y plagas. Su potencial antagonista lo podemos explotar al rotarlas o asociarlas con los cultivos o al incorporar sus residuos al suelo. Otra forma de aprovechar dicho antagonismo es mediante la preparación de extractos o infusiones a partir de sus tejidos (García y Montes, 1992; Montes *et al.*, 1992, 1993, 1997; Fraire *et al.*, 1993; Campos *et al.*, 1994; Díaz, 1994; Medrano *et al.*, 1994; Díaz-Plaza, 1996; Verduzco, *et al.*, 1996).

*Tagetes erecta* ("cempazúchil" o "flor de muerto"), es una de las plantas ampliamente reconocida como poseedora de propiedades fungicidas, nematicidas e insecticidas; sus propiedades antagonistas se deben a la presencia de compuestos terpenos en sus tejidos. Zavaleta-Mejía y colaboradores (Castro *et al.*, 1990a; Gómez *et al.*, 1992; Zavaleta-Mejía y Ochoa, 1992; Zavaleta-Mejía *et al.*, 1993; Zavaleta-Mejía y Gómez, 1995; Yáñez, 1997) reportan que el rotar e incorporar los residuos de cempazúchil o al asociarlo con chile o jitomate, se tiene una reducción significativa en el agallamiento radical ocasionado por los nemátodos *Nacobbus aberrans* y *Meloidogyne incognita*, en las

hortalizas mencionadas. En pepino, Tun *et al.* (1997) mencionan haber controlado nemátodos fitoparásitos con la incorporación de cempazúchil.

Asimismo, en la asociación de cempazúchil con jitomate o chile se capturaron poblaciones más bajas de insectos vectores de virus (áfidos alados y mosquita blanca), en comparación con las parcelas plantadas solamente con chile o jitomate (Castro *et al.*, 1990b; Gómez *et al.*, 1992; Zavaleta-Mejía *et al.*, 1993; Chew *et al.*, 1995; Zavaleta-Mejía y Gómez, 1995). A su vez, las bajas poblaciones de vectores estuvieron correlacionadas con una menor incidencia de plantas con síntomas de virosis (Castro *et al.*, 1990b; Gómez *et al.*, 1992; Chew *et al.*, 1995; Zavaleta-Mejía y Gómez, 1995). Por otro lado, en la asociación cempazúchil-jitomate se produjo una reducción significativa en el daño por el hongo *Alternaria solani* en el follaje y fruto del jitomate (Rojas-Martínez *et al.*, 1994; Zavaleta-Mejía y Gómez, 1995).

También con la leguminosa *Crotalaria longirostrata*, en asociación con jitomate o incorporando sus residuos al suelo, se obtuvo una reducción significativa en el agallamiento de raíces inducido por *M. incognita* en jitomate (Villar y Zavaleta-Mejía, 1990). Otras plantas con potencial para utilizarse como antagonistas de fitopatógenos son las crucíferas (Brasicáceas); por ejemplo, Zavaleta-Mejía *et al.* (1990) señalan que con la incorporación de residuos de col o brócoli al suelo se obtuvieron reducciones significativas en el agallamiento inducido por *M. incognita* en jitomate. En cebolla también se redujo la incidencia y severidad de la pudrición blanca causada por *Sclerotium cepivorum* (Zavaleta-Mejía y Rojas, 1990; Zavaleta-Mejía *et al.*, 1990; Zavaleta-Mejía y Gómez, 1994).

Todos estos antecedentes dan una idea del gran potencial que tiene el uso de plantas antagonistas; sin embargo, para manipular de manera racional y eficaz a estas plantas es de fundamental importancia determinar qué factores y/o condiciones favorecen la máxima expresión del antagonismo, así como los mecanismos responsables del control.

### Microorganismos Antagonistas

En algunos países se tienen ya disponibles a nivel comercial microorganismos antagonistas para controlar algunas enfermedades bióticas de las plantas cultivadas (Upadhyay y Rai, 1988; Lewis y Papavizas, 1991). En México son pocas las investigaciones que se han realizado sobre control biológico de fitopatógenos

mediante el uso de microorganismos antagonistas. La mayoría en laboratorio (Zavaleta-Mejía y Rojas, 1989; Carrillo *et al.*, 1991; Samaniego, 1991; Virgen y López, 1992; Salazar *et al.*, 1994) o invernadero (Zavaleta-Mejía y Rojas, 1989; López y González, 1990; Casarrubias y Frias, 1992; Tovar y Gaona, 1993; Navarrete y Virgen, 1994; Aranda y Fucikovsky, 1996) y muy pocas en campo.

De los trabajos efectuados en campo destacan los que se mencionan enseguida. Carrión *et al.* (1992) lograron reducir la incidencia de la roya del café (inducida por *Hemileia vastatrix*) con aspersiones mensuales de conidios de *Verticillium lecanii*, con  $2.14 \times 10^4$ ,  $2.14 \times 10^5$  y  $4.28 \times 10^5$  esporas mL<sup>-1</sup>. Virgen y García (1990) obtuvieron una reducción en la incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, en plantas de sandía, mediante el tratamiento de la semilla con *Bacillus subtilis* ( $1.6 \times 10^4$  bacterias g<sup>-1</sup> de semilla). Virgen-Calleros *et al.* (1996) lograron en papa cierto control de *Rhizoctonia solani* con la aplicación de *Bacillus subtilis*. También con la aplicación de *Verticillium lecanii* ( $1 \times 10^{10}$  conidios mL<sup>-1</sup>), se logró reducir hasta 56 % la severidad de la roya blanca (*Puccinia horiana*) en el cultivar "Spider" de crisantemo, en Villa Guerrero, México (Rodríguez-Navarro *et al.*, 1996). Torres-Barragán *et al.* (1996), al micorrizar plántulas de cebolla con *Glomus* sp. Zac 19, lograron retardar el inicio de la pudrición blanca (inducida por *Sclerotium cepivorum*) y obtuvieron una reducción significativa de la enfermedad durante las primeras 11 semanas después del trasplante; asimismo, la micorrización de la cebolla estuvo asociada con un incremento de 22 % en la producción de bulbos. En el caso de la roya de la cebada (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*), Castrejón y González (1994), con la aplicación del filtrado donde creció *Helminthosporium tritici-repentis*, redujeron el desarrollo final de la roya en 40 % y obtuvieron un incremento en la producción de grano de cebada de 1000 kg ha<sup>-1</sup>.

Con base en lo anterior resulta evidente la necesidad de intensificar la investigación en el control de fitopatógenos mediante el uso de microorganismos antagonistas y de dar continuidad a las investigaciones realizadas en laboratorio e invernadero para determinar su potencial en campo.

### Fitomineraloterapia

La fitomineraloterapia es la protección contra algunas enfermedades basada en el empleo de sales inorgánicas que además influyen directamente en la

nutrición de las plantas (Homma *et al.*, 1981). Horst *et al.* (1992) denominaron a estas sales "compuestos biocompatibles" por tener baja toxicidad en mamíferos y al ambiente. Las sales que comúnmente se han utilizado para el control de enfermedades son: bicarbonato de sodio, bicarbonato de amonio, bicarbonato de potasio y sulfato de cobre. La protección debido al uso de estos compuestos se explica por efectos tóxicos sobre las estructuras del patógeno, reducción de la susceptibilidad del hospedante y modificación del pH en la superficie de la hoja. Entre los hongos controlados con la aplicación de sales inorgánicas están *Sclerotium rolfsii*, *Penicillium digitatum*, *Colletotrichum orbiculare*, *Diplocarpon rosae*, *Phytophthora infestans* y los que inducen las cenizas (Homma *et al.*, 1981; Punja y Grogan, 1982; Horst *et al.*, 1992; Ziv y Zitter, 1992; Ziv y Hagiladi, 1993).

Esta alternativa de manejo de enfermedades ha recibido poca atención en México. En Villa Guerrero, estado de México, se encontró que con la aplicación de bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, carbonato de calcio y sulfato de cobre, la severidad de la roya blanca (*Puccinia horiana*) del crisantemo se redujo hasta 69 %, con respecto al testigo (Rodríguez-Navarro *et al.*, 1996).

### Cubiertas Epidermales

Se ha demostrado que las características de las superficies de las plantas pueden ser determinantes en la adherencia de las esporas, su germinación, crecimiento del tubo germinativo y penetración en el proceso infectivo de muchas enfermedades fungosas. Mediante la aspersión foliar de polímeros, tales como aceites, ceras, politerpenos, alcoholes y silicones (cubiertas epidermales originalmente utilizadas como anti-transpirantes) se puede interferir en el proceso de penetración, al proteger a los órganos de la planta contra microorganismos invasores y disminuir la severidad de ciertas enfermedades (Ziv y Frederiksen 1983, 1987; Hang, 1990; Zekaria-Oren y Eyal, 1991). Los polímeros, al ser asperjados sobre la superficie, forman una película o membrana continua que permite la difusión de oxígeno y bióxido de carbono pero inhibe el paso del agua, son biodegradables y pueden permanecer intactos hasta por 15 días y no son fácilmente lavados por la lluvia.

Algunos hongos controlados con el uso de estos polímeros son: *Glomerella cingulata*, *Alternaria solani*, *Septoria lycopersici*, *Pseudoperonospora cubensis*, *Colletotrichum lagenarium*, *Pyricularia oryzae*,

*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*, *Peronosclerospora sorghi*, *Colletotrichum gramminicola*, *Eserohilum turcicum* y *Erysiphe cichoracearum* (Ziv y Frederiksen, 1983, 1987; Kamp, 1985; Hang, 1990).

En México ha sido poco explorado el uso de cubiertas epidermales para controlar enfermedades foliares fungosas. En Villa Guerrero, estado de México, con la aplicación de Nu Film 17 (di-1-p-meteno), Saf-T-Side (aceite parafinado) e Insul Crop (aminoácidos orgánicos y enzimas orgánicas conjugadas), se obtuvieron reducciones hasta de 64 % en la severidad de la roya blanca (*Puccinia horiana*) del crisantemo (Rodríguez-Navarro *et al.*, 1996).

### Solarización y Acolchado

La solarización es una práctica mediante la cual, al cubrir el suelo con una película de plástico transparente, la energía solar se aprovecha para incrementar en el suelo la temperatura a niveles letales para muchos fitopatógenos, insectos y maleza. En general, los efectos resultantes de la solarización son: inducción de supresividad, debilitamiento de propágulos, liberación de gases, cambios fisicoquímicos del suelo y estimulación del crecimiento de las plantas (Chen y Katan, 1980; Katan, 1981; Stapleton y Devay, 1982, 1983, 1984; Stapleton *et al.*, 1985).

En México, mediante la solarización se obtuvo un control significativo de la marchitez del melón, inducida por *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*, *F. solani* y *Macrophomina phaseolina* (Vidales *et al.*, 1987); la "secadera" de la fresa, inducida por *Fusarium oxysporum*, *Verticillium* sp., *Alternaria* sp. y *Rhizoctonia* sp. (Castro y Dávalos, 1989); la pudrición de la corona y raíz del tomate, inducida por *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Ramírez, 1989); y la marchitez del chile, inducida por *Phytophthora capsici* (Chávez *et al.*, 1994; Yáñez, 1997). Por su parte, López y Vargas (1996), en un predio con incidencia de 35 % de pudrición blanca (*S. cepivorum*), lograron controlar a la enfermedad hasta en 97 % y se evitó la reinfestación del predio en los siguientes tres años.

El arropamiento o acolchado del suelo con plástico negro protege al suelo de la erosión, conserva la humedad, protege a las plantas contra el calor o frío, mejora la germinación y establecimiento de las plántulas, mejora la sanidad del cultivo al proteger a las raíces, frutos y follaje del ataque de fitopatógenos e insectos, aumenta la temperatura del suelo, controla malezas, mejora la estructura del suelo y conserva su

fertilidad. Todo esto se traduce en un incremento tanto del rendimiento como de la calidad del producto cosechado (Ibarra y Rodríguez, 1991; Ramírez y Estrada, 1992).

Con el acolchado se han obtenido reducciones significativas en la incidencia de virosis en algunas hortalizas como melón (Orozco *et al.*, 1994) y chile (Chew *et al.*, 1995; Yáñez, 1997), así como incrementos substanciales en la producción (76 y 171 %, respectivamente) en comparación con el testigo sin acolchar. También se ha intentado controlar algunos patógenos con origen en el suelo mediante acolchado; v.gr., Santos *et al.* (1990) obtuvieron una reducción de 45 % en el agallamiento inducido por *Meloidogyne incognita* en papa y obtuvieron un incremento en la producción de 59 % con respecto al testigo. Por su parte, Zavaleta-Mejía y Gómez (1994), al acolchar suelo infestado con *Sclerotium cepivorum* causante de la pudrición blanca, encontraron que la incidencia final de plantas enfermas fue similar a la del testigo sin acolchar (62 y 71 %, respectivamente); no obstante, en el tratamiento con acolchado se obtuvo un incremento de 87 % en la producción de bulbo sano.

### CONCLUSIONES

Esta última y otras experiencias de obtención de incrementos substanciales en el rendimiento del cultivo, aun cuando no haya habido una reducción significativa del patógeno o de la enfermedad conducen a reflexionar si la estrategia que como fitopatólogos hemos seguido, esto es la de declarar "una guerra sin cuartel" a los patógenos ha sido la más adecuada; y el cuestionamiento es aún mayor cuando reconocemos que, a pesar de esta lucha continua, los fitopatógenos siguen ocasionando mermas en la producción y sobrepasando las barreras que les ponemos con la idea de exterminarlos. Quizás una mejor estrategia sería la de manejar al hospedante y su microambiente de tal forma que se le provea a la planta de las condiciones óptimas para que exprese su máximo potencial metabólico y fisiológico y entonces pueda tolerar, y tal vez en algunos casos resistir, la actividad patogénica del parásito y que, a pesar de la presencia de éste, el cultivo pueda producir satisfactoriamente de manera que no se impacte significativamente la economía del agricultor.

Las opciones de manejo de las enfermedades de las plantas, diferentes al control químico, son múltiples, variadas y factibles de utilizarse desde el punto de vista práctico. Cuál o cuáles combinaciones de ellas deberán adoptarse, dependerá de factores tales como

redituabilidad del cultivo, enfermedades a controlar, disponibilidad de recursos económicos, grado de tecnificación y condiciones ambientales. Otro aspecto importante que se debe enfatizar es que los problemas de plagas y enfermedades podrán manejarse de una manera sostenida, siempre y cuando las prácticas mencionadas no se apliquen de manera aislada, sino más bien sean parte de un programa de control integrado, en el que con la aplicación de varios métodos de control, se pueda llegar a establecer un equilibrio de tal forma que las poblaciones de plagas y fitopatógenos puedan mantenerse en un nivel tal que su impacto económico en los cultivos sea mínimo. De esta manera se podrá contribuir a reducir tanto la contaminación ambiental, como la presión de selección que sistemáticamente se ha ejercido sobre las poblaciones de parásitos. El abuso o dependencia de un solo método de control, por más eficaz que sea, tarde o temprano lo hará inefectivo y sus efectos colaterales, que en mayor o menor grado todos los métodos de control tienen, se magnificarán.

#### LITERATURA CITADA

- Aranda, S. y L. Fucikovsky. 1996. Evaluación del efecto de *Bacillus subtilis* en la producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Fitopatología 14: 166.
- Campos-A., J.E., M. del S. Vázquez-M. y R. Rodríguez-G. 1994. Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento de *Rhizobium solani*, en laboratorio. pp. 47. In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología. Cuernavaca, Morelos, México.
- Carrillo F., J.A., J. Cruz O. y J. Ley F. 1991. Búsqueda de microorganismos antagonistas a *Alternaria carthami* Chow, causante del tizón foliar del cártamo. pp. 181. In: Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitopatología. Puebla, Puebla, México.
- Carrión, G., F. Ruiz-Belin y R. Alarcón-Mora. 1992. Control biológico de la roya del café por *Verticillium lecanii* en México. pp. 194. In: M. Romero F. y A. Gómez B. (eds.). Memorias del VI Congreso Latinoamericano de Fitopatología. VI Congreso Nacional de la Sociedad Española de Fitopatología, Torremolinos, España.
- Casarrubias, U. y G. Frías A. 1992. Evaluación de la eficacia de *Bacillus subtilis* para el control de la marchitez del chile en condiciones de invernadero. pp. 165. In: Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitopatología. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Castrejón S., A. y R.M. González I. 1994. Posibilidad de control biológico de *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* en cebada, bajo condiciones de campo. pp. 33. In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología. Cuernavaca, Morelos, México.
- Castro, F.J. y P.A. Dávalos. 1989. Control de la secadera de la fresa por medio de solarización. pp. 125. In: Memorias del XVI Congreso Nacional de Fitopatología. Montecillo, México.
- Castro A., A.E., E. Zavaleta-Mejía, I. Cid del Prado V. y V. Zamudio G. 1990a. Rotación e incorporación de *Tagetes erecta* L. para el manejo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Tecamachalco, Puebla. Revista Mexicana de Fitopatología 8: 173-180.
- Castro A., A.E., E. Zavaleta-Mejía y V. Zamudio G. 1990b. Efecto de la asociación de compasúchil (*Tagetes erecta* L.) con tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chile (*Capsicum annum* L.) sobre poblaciones de áfidos en Tecamachalco, Puebla. Revista Mexicana de Fitopatología 8: 198-200.
- Chávez-Alfaro, J., E. Zavaleta-Mejía y D. Téliz-Ortiz. 1994. Control integrado de la marchitez del chile (*Capsicum annum* L.) ocasionado por el hongo *Phytophthora capsici* Leo., en la región de Valsequillo, Puebla, Méx. Fitopatología 30: 47-55.
- Chen, Y. y J. Katan. 1980. Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. Soil Sci. 103: 271-277.
- Chew, M.J., E. Zavaleta-Mejía, F. Delgadillo S., A. Valdivia R., R. Peña M. y E. Cárdenas S. 1995. Evaluación de algunas estrategias de control de la virosis en el cultivo del chile (*Capsicum annum*). Fitopatología 30: 74-84.
- Díaz B., V. 1994. Evaluación del efecto fungicida y/o bactericida de extractos del árbol de cuachalalate (*Amphytergyium adstringens* S.) mediante antibiogramas y bioensayos *in vitro*. pp. 45. In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología. Cuernavaca, Morelos, México.
- Díaz-Plaza, R. 1996. Infusiones vegetales en el control de tizón temprano en jitomate, en Yucatán. Revista Mexicana de Fitopatología 14: 170 (Resumen).
- Fraire S, L., R. Montes B. y R. Pérez P. 1993. Efecto de extractos vegetales en el desarrollo del tizón tardío *Phytophthora infestans* en jitomate. pp. 52. In: Memorias del XX Congreso Nacional de Fitopatología. Zacatecas, Zacatecas, México.
- García L., R. y R. Montes B. 1992. Efecto de extractos vegetales en la germinación de esporas y en los niveles de daño de *Alternaria solani* en jitomate. pp. 159. In: Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitopatología. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Gómez R., O., E. Zavaleta-Mejía, C.F. Viesca G. y O. Ortiz. 1992. Asociación de *Tagetes erecta* e incorporación de sus residuos, posible alternativa para el manejo de algunos problemas fitopatológicos en jitomate (*Lycopersicon esculentum*). pp. 201. In: M. Romero F. y A. Gómez B. (eds.). Memorias VI Congreso Latinoamericano de Fitopatología. VI Congreso Nacional de la Sociedad Española de Fitopatología, Torremolinos, España.
- Hang, J.S. 1990. Use of antitranspirant epidermal coatings for plant protection in China. Plant Disease 74: 263-266.
- Homma, Y., Y. Arimoto y T. Misato. 1981. Effect of sodium bicarbonate on each growth stage of cucumber powdery mildew fungus (*Spharotheca fuliginea*) in its life cycle. J. Pest Sci. 6: 201-209.
- Horst, R.K., S.O. Kawamoto y L.L. Porte. 1992. Effect of sodium bicarbonate and oils on the control of powdery mildew and black spot of roses. Plant Disease 76: 247-251.
- Ibarra J., L. y A. Rodríguez P. 1991. Acolchado de suelos con películas plásticas. Limusa, México, D.F.
- Kamp, M. 1985. Control of *Erysiphe cichoracearum* on *Zinnia elegans*, with a polymer-based antitranspirant. HortSci. 20: 879-881.

- Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology* 19: 211-236.
- Lewis, J.H. y G.C. Papavizas. 1991. Biocontrol of plant diseases: The approach for tomorrow. *Crop Protection* 10: 95-105.
- López B., S. y A. González M. 1990. Control biológico de *Phymatotrichum omnivorum* (Scheer) Duggar con *Bacillus subtilis*. pp. 105. *In: Memorias del XVII Congreso Nacional de Fitopatología*. Culiacán, Sinaloa, México.
- López F., L.C y G. Vargas P. 1996. Rehabilitación de tierras agrícolas con problemas de pudrición blanca *Sclerotium cepivorum* Berck. después del tratamiento con solarización y la aplicación de Tebuconazole (Folicur 250CE). *Revista Mexicana de Fitopatología* 14: 182.
- Medrano-R., D.E., R. Rodríguez-G. y M. del S. Vázquez-M. 1994. Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento de *Colletotrichum lindemuthianum*, en laboratorio. pp. 46. *In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología*. Cuernavaca, Morelos, México.
- Montes B., R., R. Pérez P., F. Arce G. y J. García G. 1992. Reducción del daño del chino del jitomate mediante extractos vegetales acuosos. pp. 160. *In: Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitopatología*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Montes B., R., A. Sosa H., R. Diaz R., E. Taboada V. y R. Pérez P. 1993. Avances en la evaluación de extractos vegetales acuosos para el control del chino del jitomate. pp. 53. *In: Memorias del XX Congreso Nacional de Fitopatología*, Zacatecas, México.
- Montes B., R., M. Carbajal, R. Figueroa B. e I Méndez. 1997. Extractos sólidos, acuosos y hexánicos de plantas para el combate de *Aspergillus flavus* Link. en maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 15: 26-30.
- Navarrete L., J. y G. Virgen C. 1994. Antagonismo in vitro de *Bacillus subtilis* a *Fusarium oxysporum*, *Alternaria* sp. y *Botrytis* sp. pp. 43. *In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología*. Cuernavaca, Morelos, México.
- Orozco-S., M., O. Pérez y O. López-A. 1994. Efecto de cubiertas flotantes y acolchado sobre la incidencia de virosis, fumagina y producción de melón Cantaloupe. pp. 24. *In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología*. Cuernavaca, Morelos, México.
- Punja, Z.K. y R.G. Grogan. 1982. Effects of inorganic salts, carbonate bicarbonate anions, ammonia, and the modifying influence of pH on sclerotial germination of *Sclerotium rolfii*. *Phytopathology* 72: 635-639.
- Ramírez V., J. 1989. Efecto de la solarización y metam-sodio sobre la pudrición de la corona y raíz del tomate (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*), malas hierbas y desarrollo del tomate (*Lycopersicon esculentum*). pp. 156. *In: Memorias del XVI Congreso Nacional de Fitopatología*. Montecillo, México.
- Ramírez V., J. y F.J. Estrada R. 1992. Acolchado con plástico para el desarrollo de hortalizas. Culiacán, Sin., México.
- Rodríguez-Navarro, J.A., E. Zavaleta-Mejía y R. Alatorre-Rosas 1996. Epidemiología y manejo de la roya blanca (*Puccinia horiana* P. Henn.) del crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.). *Fitopatología* 31: 122-132.
- Rojas-Martínez, R.L., E. Zavaleta-Mejía y O. Gómez R. 1994. Efecto de la asociación cempazúchil-jitomate en el daño producido por *Alternaria solani* en jitomate. pp. 25. *In: Memorias XXI Congreso Nacional de Fitopatología*. Cuernavaca, Morelos, México.
- Salazar G., M., G. Virgen C., G.L. Anguiano, R. Hernández D., R. Jiménez y V. Olalde P. 1994. Inhibición in vitro de *Fusarium* sp. y *Verticillium* sp. con bacterias antagonicas de la rizosfera. pp. 44. *In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología*. Cuernavaca, Morelos, México.
- Samaniego, J. 1991. La actividad microbiana en pajas de trigo inoculado con *Trichoderma* sp. y suelos complementados con glucosa y su relación con la viabilidad de los esclerocios de *Phymatotrichum omnivorum*. pp. 180. *In: Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitopatología*. Puebla, Puebla, México.
- Santos E., O.A., M. Cepeda S. y A. Coronado L. 1990. Aplicación de aldicarb y acolchado para el manejo de *Meloidogyne incognita* en papa (*Solanum tuberosum* L.) en Navidad, Nuevo León. I. Efecto en el rendimiento e índice de agallamiento de tubérculos. pp. 112. *In: Memorias del XVII Congreso Nacional de Fitopatología*. Culiacán, Sinaloa, México.
- Stapleton, J.J. y J.E. Devay. 1982. Effect of soil solarization on populations of selected soilborne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedlings. *Phytopathology* 72: 323-326.
- Stapleton, J.J. y J.E. Devay. 1983. Response of phytoparasitic and free-living nematodes to soil solarization and 1,3-dichloropropene in California. *Phytopathology* 73: 1429-1436.
- Stapleton, J.J. y J.E. Devay. 1984. Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. *Phytopathology* 74: 255-259.
- Stapleton, J.J., J. Quick y J.E. Devay. 1985. Soil solarization: effects on soil properties, crop fertilization and plant growth. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 369-373.
- Torres-Barragán, A., E. Zavaleta-Mejía, M.C. González Chávez. y R. Ferrera-Cerrato 1996. The use of arbuscular mycorrhizae to control onion white rot (*Sclerotium cepivorum* Berck.) under field conditions. *Micorrhiza* 6: 253-257.
- Tovar A., R. y H. Gaona. 1993. Efecto de *Glomus* sp (MV-A) sobre la pudrición de la raíz por *Phytophthora* en naranjo. pp. 56. *In: Memorias del XX Congreso Nacional de Fitopatología*. Zacatecas, México.
- Tun, J., A. Navarrete, J. Quiroz y M. Soria. 1997. Forma y dosis de cempazúchil (*Tagetes patula* L.) aplicado al suelo como nematocida en pepino (*Cucumis sativus* L.). pp. 84. *In: Memorias del XXIV Congreso Nacional de Fitopatología*. Cd. Obregón Sonora, México.
- Upadhyay, R.S. y B. Rai. 1988. Biological agents in plant pathology. pp. 15-36. *In: K. Mukersji y K.L. Grag (eds.) "Biocontrol of plant diseases" Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Fl.*
- Verduzco, L., J. Farias, M. Orozco-S. y S. Guzmán. 1996. Efecto de la incorporación de plantas y aplicación de nematocidas sobre el control de nematodos agalladores. *Revista Mexicana de Fitopatología* 14: 168.
- Vidales J., A., D. Munro-O. y J.J. Alcántar-R. 1987. Control de patógenos del suelo mediante el uso de energía solar en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), en el Valle de Apatzingán, Mich. pp. 154. *In: Memorias del XIV Congreso Nacional de Fitopatología*. Morelia, Michoacán, México.
- Villar E., M.J. y E. Zavaleta-Mejía. 1990. Efecto de *Crotalaria longirostrata* Hook y Arnott sobre nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp). *Revista Mexicana de Fitopatología* 8: 38-41.
- Virgen C., G. y J. García C. 1990. Resultados preliminares sobre control biológico de *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* con *Bacillus subtilis* en sandía, bajo condiciones de campo. pp. 106.

- In: Memorias del XVII Congreso Nacional de Fitopatología. Culiacán, Sinaloa, México.*
- Virgen C., G. y J. López N. 1992. Una bacteria antagonica a *Rhizoctonia solani in vitro*. pp 165. *In: Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitopatología. Saltillo, Coahuila, México.*
- Virgen-Calleros, G., V. Olalde-Portugal and R. Rocha R. 1996. Biological and chemical control of *Rhizoctonia solani* on potato in Guanajuato, Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 14: 180.
- Yáñez J., M.A. 1997. Manejo de la marchitez (*Phytophthora capsici* Leo), agallamiento radical (*Nacobbus aberrans* Thome y Allen) y virosis del chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México
- Zavaleta-Mejía, E. 1994. Control biológico de fitopatógenos. pp 115-125. *In: R. Alatorre R. y A.W. Guzmán F. (eds.). Memorias V Curso de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México.*
- Zavaleta-Mejía, E. y O. Gómez R. 1994. Efecto de la combinación de varias estrategias de control en la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*) de la cebolla. pp. 30. *In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología. Cuernavaca, Morelos, México.*
- Zavaleta-Mejía, E. y O. Gómez R. 1995. Effect of *Tagetes erecta* L. - tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) intercropping on some tomato pests. *Fitopatología* 30: 35-46.
- Zavaleta-Mejía, E. y D.L. Ochoa M. 1992. Efecto de diferentes formas de asociación jitomate-cempasúchil en la producción de jitomate e infección por *Nacobbus aberrans*. pp. 140. *In: Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitopatología. Saltillo, Coahuila, México.*
- Zavaleta-Mejía, E. y R.I.Rojas M. 1989. Antagonismo de *Serratia marcescens* Bizio (Enterobacteriaceae) sobre *Fusarium oxysporum* Schlect, f.sp. *Lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hans. *Revista Mexicana de Fitopatología* 7: 113-118.
- Zavaleta-Mejía, E. y R.I. Rojas M. 1990. The effects of Brassica crop residues on *Sclerotium cepivorum* Berk. pp. 185-192. *In: Proceedings of the Fourth International Workshop on Allium White Rot. A. Entwistle R. y P. Mattusch (eds.). Neustand-Mussbach, Federal Republic of Germany.*
- Zavaleta-Mejía, E., R.I. Rojas M. y M. Zavaleta M. 1990 Effect of volatiles emanated from brassicaceous (cruciferous) residues on some soil-borne pathogens. pp. 118-123. *In: Report on the Workshop on Chemical Interactions Between Organisms, Santiago, Chile. International Foundation for Science-IFS, Stockholm, Sweden.*
- Zavaleta-Mejía, E., A.E. Castro A. y V. Zamudio G. 1993. Efecto del cultivo e incorporación de *Tagetes erecta* sobre la población e infección de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en Chile (*Capsicum annuum* L.). *Nematropica* 23: 49-56.
- Zekaria-Oren, J. y Z. Eyal. 1991. Effect of film-forming compounds on the development of leaf rust on wheat seedlings. *Plant Disease* 75: 231-234.
- Ziv, O. y R.A. Frederiksen. 1983. Control of foliar diseases with epidermal coating materials. *Plant Disease* 67: 212-214.
- Ziv, O. y R.A. Frederiksen. 1987. The effect of film-forming antitranspirants on leaf rust and powdery mildew incidence on wheat. *Plant Pathology* 36: 242-245.
- Ziv, O. y A. Hagiladi. 1993. Controlling powdery mildew in *Euonymus* with polymer coatings and bicarbonate solutions. *HortSci.* 28: 124-126.
- Ziv, O. y T.A. Zitter. 1992. Effects of bicarbonates and film-forming polymers on cucurbit foliar diseases. *Plant Disease* 76: 513-517.

# TECNICAS DE DIAGNOSTICO UTILES EN LA MEDICION DE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y EL ESTADO NUTRIMENTAL DE LOS CULTIVOS

## Useful Techniques of Diagnosis in the Measurement of the Soil Fertility and the Nutrient Status of Crops

Jorge D. Etchevers Barra<sup>1</sup>

### RESUMEN

Para obtener rendimientos cercanos a los máximos posibles, en el caso de cualquier cultivo y agroecosistema, se requiere que las necesidades nutrimentales básicas de los cultivos sean satisfechas. Estos rendimientos deben ser económicamente viables. Las necesidades indicadas pueden verse desde dos puntos de vista: (1) la concentración mínima, o la óptima, que un nutriente debe tener en toda la parte aérea, en un órgano seleccionado con anterioridad como indicador del estado nutricional o en la savia y (2) la cantidad de nutriente (en kg ha<sup>-1</sup>) que la planta debe contener en cada etapa de su vida para aspirar a alcanzar esos rendimientos. La primera es un valor constante para cada edad de la planta, proporcional a la cantidad de materia seca (carbono principalmente) que ésta contenga en un momento determinado, y por lo tanto dependiente de las etapas de desarrollo del cultivo, pero independiente del rendimiento; esto es, para aspirar a obtener el rendimiento máximo que el medio ambiente permita, es necesario que esa concentración sea satisfecha; de no ser así, los rendimientos posibles que pudieran alcanzarse no serán obtenidos. El segundo criterio, es decir, la cantidad de nutriente que la planta requiere en cada etapa de su desarrollo, es dependiente, en general, de los rendimientos y, en particular, de los rendimientos máximos posibles de obtener en cada condición específica; cuando ésta permite la obtención de mayores rendimientos, las cantidades de nutrientes que requerirá el cultivo serán mayores.

Para verificar que las concentraciones mínimas requeridas en cada momento del ciclo de desarrollo del cultivo se están satisfaciendo, se cuenta con la herramienta del análisis químico de tejidos vegetales.

Dichas concentraciones (niveles críticos, rangos de concentración, valores DRIS, índices de distintas naturaleza) deben ser determinadas con anterioridad a la aplicación del instrumento de diagnóstico indicado. Hoy sólo se conocen algunos de estos valores, pero cada día se agregan más a la lista; por lo general, la información disponible se refiere a concentraciones que se deben satisfacer en ciertos órganos de la planta en momentos muy específicos de su desarrollo. La determinación de estas concentraciones de referencia puede hacerse directamente en el campo o en el laboratorio por diversos procedimientos claramente establecidos, pero que requieren de un buen control de la calidad de los análisis. El principal órgano observado es la hoja, de ahí que a la técnica se le llame diagnóstico foliar, sin embargo, es posible analizar cualquier otro órgano para el que se cuente con información sobre sus concentraciones de referencia o la savia.

El segundo enfoque, es decir, la estimación de las cantidades de nutrimentos requeridas para alcanzar cierto rendimiento (establecido por las condiciones particulares de suelo y clima del sitio y por la planta y manejo en cuestión) precisa de ciertos conocimientos teóricos y el empleo de técnicas de análisis químico de suelo y planta. Estas últimas se emplean para medir los contenidos totales de nutrimentos en la planta al momento de la colecta (cualquiera que éste sea), y son análisis que se realizan con anterioridad y sus valores son conocidos. Este dato, junto con los rendimientos esperados o posibles y los índices de cosecha respectivos, se emplea para calcular la demanda nutrimental, esto es, los kilos por hectárea de un nutrimento que la planta debe poder extraer desde el suelo e incorporar a sus tejidos para alcanzar los rendimientos indicados. Los análisis de suelo se emplean para estimar la disponibilidad de un elemento en particular. Los análisis de suelo son índices de disponibilidad y no las verdaderas cantidades disponibles de un elemento. Para la adecuada interpretación de este análisis, es preciso o contar con calibraciones, que se obtienen a través de la ejecución de costosos y complejos experimentos de campo (los

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Especialidad de Edafología, Área de Fertilidad de Suelos, Km. 35.5 Carr. México-Texcoco, 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México.

Recibido: Febrero de 2000.  
Aceptado: Junio de 2000.

cuales han sido escasamente realizados en México) o el uso de otro tipo de información también previamente establecida. La interpretación de los análisis químicos de suelos requiere de un necesario conocimiento de la teoría que los soportan, base del éxito de la misma. Una variante de los análisis químicos de suelo es la medición de las concentraciones nutrimentales en la solución de éste, que está recibiendo una atención preferente en sistemas de producción con fertirrigación. En resumen, se puede decir que los productores y técnicos de agro cuentan con una gran variedad de medios analíticos que permiten reducir el riesgo de que los cultivos no se desempeñen óptimamente por falta de una nutrición adecuada.

*Palabras clave: Nutrición óptima, análisis de tejido, análisis de savia, análisis de suelo.*

### SUMMARY

To obtain yields near the possible maximums, in the case of any crop and agroecosystem, it is required that the basic nutrimental necessities of the crops are satisfied. These yields must be economically viable. The indicated necessities can be seen from two points of view: (1) the minimum concentration, or the optimal one, that a nutrient must have in all the aerial part, in an organ previously selected as an indicator of the nutritional stage or in the sap, and (2) the amount of nutrient (in  $\text{kg ha}^{-1}$ ) that the plant must contain in each stage of its life to aspire to reach those yields. The first one is a constant value for each age of the plant, proportional to the amount of dry matter (carbon mainly) that this contains at a certain moment, and therefore is dependent on the stages of development of the crop, but not dependent on the yield; this is, it is necessary that the concentration is satisfied to aspire to obtain the maximum yield that the atmosphere allows; otherwise, the possible yields that could be reached will not be obtained. The second criterion, that is to say, the amount of nutrient that the plant requires in each stage of its development, depends, in general, on the yields, and particularly, on the maximum possible yields to obtain in each specific condition; when this allows the obtaining of high yields, the amounts of nutrients that the crop will require will be high.

In order to verify that the required minimum concentrations are being satisfied at every moment of

the development cycle of the crop, it is counted on the tool of the chemical vegetal tissue analysis. These concentrations (critical levels, ranks of concentration, DRIS values, and indices of different nature) must be determined prior to the application of the instrument of indicated diagnosis. Today only some of these values are known, but every day more values are added to the list; generally, the available information refers to concentrations that are due to satisfy in certain organs of the plant at very specific moments of its development. The determination of these reference concentrations can be made directly on the field or at the laboratory by diverse clearly established procedures, but that requires a good control of the analyses quality. The main organ observed is the leaf, for that reason the technique is called foliar diagnosis, nevertheless, it is possible to analyze any other organ for which information on its reference concentrations or on the sap exists.

The second focus, that is to say, the estimation of the amounts of nutrients, required to reach a certain yield (established by the particular conditions of soil and climate of the site and by the plant and handling), needs certain theoretical knowledge and the use of techniques of chemical soil and plants analysis. These last ones are used to measure the total contents of nutrients in the plant at the time of collection (whatever that time is), and these are analyses that are made previously and their values are known.

This data, along with the expected or possible yields and the respective harvest indices, is used to calculate the nutrimental demand, that is to say, the kilos per hectare of a nutrient that the plant must be able to extract from the soil and to incorporate to its tissues to reach the indicated yields. Soil analyses are used to estimate the availability of a particular element. Soil analyses are availability indices and not the real available amounts of an element. To interpret adequately this analysis, it is necessary to count on calibrations, which are obtained through the execution of expensive and complex field experiments (which have scarcely been made in Mexico), or to use an other type of information also previously established. The interpretation of the chemical soil analyses requires a necessary knowledge of the theory that supports them. A variant of the chemical soil analyses is the measurement of the nutrient concentrations in the soil solution that is receiving a preferred attention in production systems with fertigation. In short, it is possible to say that the land producers and technicians

count on a great variety of analytical means that allow to reduce the risk that crops do not evolve optimally by lack of a suitable nutrition.

*Index words: Optimal nutrition, tissue analysis, sap analysis, soil analysis.*

## INTRODUCCION

Los rendimientos que puede alcanzar un cultivo que se establece en una condición dada, generalmente no son predichos con gran exactitud. Dicha imprecisión se debe, en parte, a la escasa comprensión que tenemos de la manera como los rendimientos son determinados por los diferentes componentes del sistema planta-suelo-clima. La falta de exactitud en la predicción de los rendimientos afecta la calidad de la recomendación de fertilización que se hace para un cultivo. Esto se debe a que las necesidades nutrimentales de los cultivos son función de los rendimientos que éstos puedan alcanzar. Si el agroecosistema tiene un potencial de rendimiento elevado, las necesidades nutrimentales serán consecuentemente más elevadas y *viceversa* (Rodríguez, 1993). Este hecho, aunque bien entendido en los círculos técnicos, es escasamente reconocido por ciertos sectores. Su aceptación se considera importante, particularmente cuando se aspira a que el manejo que se haga de los fertilizantes sea conducente a una agricultura sustentable.

## NUTRICION OPTIMA

Un especialista en nutrición de cultivos se preocupa de que ninguno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas sea o se vaya a constituir en un factor limitativo para que las plantas alcancen los rendimientos máximos posibles en un ambiente dado.

Ello exige conocer cuál es el rendimiento máximo posible (Galvis *et al.*, 1993). Es obvio, desde un punto de vista agronómico, que la demanda nutrimental de un cultivo aumentará a medida que aumentan el rendimiento y la producción de biomasa asociada con éste.

Consecuentemente, el primer paso en el diseño de un plan de manejo nutrimental de un cultivo debe ser definir los rendimientos máximos posibles.

El segundo aspecto que debe ser dilucidado al estructurar el plan de manejo nutrimental es: qué proporción de dicha demanda puede ser cubierta por

el suelo, es decir, el suministro nutrimental en las condiciones en que se encuentra el suelo. Es conocido que la demanda de muchos de los elementos esenciales puede ser satisfecha por la fertilidad intrínseca de los suelos, particularmente cuando los rendimientos esperados son bajos, así como, que el abastecimiento que hace el suelo de varios elementos esenciales, particularmente de los macronutrientes primarios, no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos. Entre los elementos que con mayor frecuencia se encuentra en déficit en los suelos, están: el nitrógeno, el fósforo, el potasio y con menor frecuencia el boro y el magnesio. En los suelos de carácter alcalino es común observar problemas de abastecimiento de algunos micronutrientes. El calcio sólo es deficiente en ambientes ácidos. En el caso específico de las hortalizas, flores y frutales, además de los aspectos de rendimientos relacionados con la nutrición, debe considerarse el efecto que tiene la nutrición en la calidad de los productos.

Gran parte del esfuerzo en el área de nutrición de cultivos, en el pasado, ha sido dedicado a evaluar la capacidad de abastecimiento nutrimental que poseen los suelos y los requerimientos nutrimentales de los cultivos (Westerman, 1990). Esta tarea cae dentro del área llamada diagnóstico de la fertilidad del suelo y estado nutrimental de los cultivos. En la actualidad, además de medir esa capacidad de abastecimiento, es común que en la agricultura de altos insumos, de carácter empresarial, se haga un seguimiento del estado nutrimental de los cultivos a lo largo del ciclo de crecimiento, para evitar que la nutrición pudiese ser un factor limitativo para la producción (Reuter y Robinson, 1986).

Si el diagnóstico señala que el abastecimiento nutrimental es deficiente, es necesario balancear dicho abastecimiento mediante la aplicación de sustancias denominadas fertilizantes o corregir directamente el desabasto con aplicaciones al cultivo. Las relaciones entre producción y calidad, y la cantidad y tipo de fertilizante que se debe aplicar, son parte del dominio de lo que se llama la fertilidad cuantitativa. En ocasiones, como en la ferti-irrigación, se da la oportunidad de calcular y abastecer día a día las necesidades de nutrimentos que tendrá la planta aumentando dramáticamente la eficiencia de uso y disminuyendo las probabilidades de contaminación que se generan cuando todo el fertilizante es aplicado en una o dos exhibiciones.

Se sabe que las aplicaciones de fertilizantes no son cien por ciento efectivas. Esto quiere decir que la

planta sólo puede utilizar una parte de lo aplicado. De aquí que haya la necesidad de conocer la eficiencia de uso de los distintos fertilizantes en los diferentes cultivos. Esta eficiencia depende de la naturaleza de los fertilizantes, del tipo de cultivo, del suelo y de la tecnología de aplicación. Los aspectos relacionados con la aplicación de fertilizantes se abordan en el ámbito de la tecnología de uso de fertilizantes.

En resumen podemos decir, que el plan de manejo nutrimental de un cultivo depende de la demanda nutrimental de éste, del suministro que pueda hacer el suelo y de la eficiencia de uso de fertilizante. Todo lo cual se expresa en un modelo simplificado (Rodríguez, 1993), que dice:

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

Si la demanda del cultivo es menor o igual al suministro, la dosis de fertilizante a aplicar sería cero, aunque, en estos casos agrónomicamente es aconsejable aplicar una fertilización de mantenimiento equivalente a la exportación de nutrientes por el producto de la cosecha más una pequeña cantidad.

Si la demanda nutrimental es mayor que el suministro por el suelo, será necesario fertilizar. La dosis de fertilizante que se aplicará será proporcional a la magnitud del déficit encontrado.

Para medir demanda, suministro y eficiencia de recuperación del fertilizante, así como para analizar los problemas de carácter nutrimental que se presentan o pudiesen presentar durante la producción de un cultivo, y para determinar algunos aspectos relacionados con la calidad del agua y del suelo es necesario contar con procedimientos químicos adecuados. Estos se discuten a continuación.

Analizaremos a continuación algunas ideas referentes a los rendimientos máximos posibles de los cultivos y a su relación con la nutrición, para de allí derivar algunas prácticas que nos permitan realizar un mejor control de la nutrición de los cultivos.

## RENDIMIENTOS Y NECESIDADES NUTRIMENTALES

Un cultivo puede alcanzar un rendimiento cercano al máximo que se le permite en una condición determinada (agroecosistema), cuando los niveles de todos los factores de crecimiento necesarios para su crecimiento y desarrollo son ideales. Entre ellos, los niveles que se refieren a sus necesidades

nutrimentales básicas deben estar plenamente satisfechos. Es preciso aclarar que los rendimientos máximos posibles que son de real interés son aquellos económicamente viables más que los fisiológicos, pero que primero hay que definir estos últimos.

Lo anterior implica algunas ideas que es preciso recalcar: (1) que existe un rendimiento máximo que los cultivos podrían alcanzar, pero que éste es un nivel teórico; (2) que en la práctica es imposible alcanzar dichos rendimientos, ya que no se puede contar naturalmente con niveles ideales de todos y cada uno de los factores de crecimiento; algunos, los menos, pueden ser controlados por el hombre, pero la intensidad de los no controlables depende de cada sistema ecológico en particular; (3) que si se optimizasen todos aquellos factores que el hombre puede controlar, todavía se tendrían factores (factores no controlables) que dependen del ecosistema, que se ubicarían en niveles inferiores a los ideales; la intensidad de estos factores no controlables sería la que determinaría el rendimiento que un cultivo puede alcanzar bajo una condición dada, partiendo de la base que todos los factores controlables fueron llevados a un óptimo; (4) como corolario de todo lo anterior surge, que un mismo cultivo puede alcanzar distintos rendimientos dependiendo del lugar donde se siembre y que se podrán obtener rendimientos cercanos a los máximos para esa condición específica, si todos los factores controlables son llevados a niveles cercanos a sus óptimos.

De inmediato surge la pregunta ¿cómo se pueden establecer estos rendimientos cercanos a los máximos? Hay varias maneras que se describen a continuación.

Los rendimientos máximos alcanzables en una zona cualquiera se pueden establecer a partir de una encuesta que se realiza entre los mejores agricultores de la zona. En ésta se debe obtener información acerca de los rendimientos máximos que logran y la frecuencia con que éstos son alcanzados. También pueden estimarse con base en los rendimientos máximos alcanzados en redes de ensayos experimentales conducidos en el área. Se supone en este caso, que los experimentos son conducidos de manera tal que el rendimiento obtenido por el mejor tratamiento es cercano al máximo posible (en numerosas ocasiones se han introducido en estos experimentos tratamientos para medir el rendimiento máximo posible). Para dar respuesta a la pregunta inicial, también es factible establecer algunas funciones empíricas en que se relacionen éstos con

alguna variable medible o estimable que tenga gran influencia en su expresión (por ejemplo, cantidad de agua caída, disponibilidad de agua en el suelo, algún estimador del déficit evapotranspirativo, etc.) (Galvis *et al.*, 1993). En otros casos, es posible usar modelos predictivos desarrollados especialmente para este objetivo. El problema con estos últimos es que generalmente requieren de una gran cantidad de información que no siempre está disponible (Volke y Etchevers, 1994).

Conocido el rendimiento es posible calcular la biomasa asociada con dicho rendimiento y con ello la demanda nutrimental.

La demanda nutrimental se puede estimar una vez que se conozca la biomasa de la parte aérea (biomasa) y el llamado requerimiento nutrimental interno de un cultivo (Rodríguez, 1993).

$\text{Demanda} = \text{Biomasa} \times \text{Requerimiento Interno}$

La biomasa se relaciona de una manera bastante definida, bajo condiciones de normalidad, con los rendimientos de la parte útil (rendimiento) mediante la siguiente expresión:

$\text{Biomasa} = \text{Rendimiento} / \text{Índice de Cosecha}$

donde

$\text{Índice de Cosecha} = \text{Rendimiento} / \text{Biomasa}$

### CONTROL DEL ESTADO NUTRIMENTAL DEL SUELO

Si los nutrientes que la planta demanda en una condición dada son proporcionados por el suelo y/o la fertilización, no habrá restricción para que, dada las otras condiciones óptimas, los rendimientos se acerquen a los posibles de alcanzar en el ecosistema. Si, por el contrario, la cantidad de nutrientes disponible es inferior a la que la planta demanda, aunque existan las otras condiciones ideales para acercarse a los rendimientos máximos del ecosistema, esto no ocurrirá. Los nutrientes se habrán transformado en el factor limitativo para el desarrollo.

Afortunadamente entre los factores que se pueden controlar está la nutrición de las plantas. Y como existe una estrecha relación entre las necesidades cuantitativas de nutriente y los rendimientos que se pueden alcanzar, es preciso prestar atención a este

factor. Si no se satisface la demanda nutrimental o necesidad nutrimental que la condición particular de crecimiento del cultivo impone, no será posible acercarse a los rendimientos máximos posibles para esa condición.

Las necesidades indicadas pueden verse desde los puntos de vista: (1) la concentración mínima, o la óptima, que un nutriente debe tener, ya sea en la parte aérea, en un órgano seleccionado con anterioridad como indicador del estado nutricional o en la savia y (2) la cantidad de nutriente que la planta debe contener en cada etapa de su vida para aspirar a alcanzar esos rendimientos.

La primera es un valor constante para cada edad de la planta, proporcional a la cantidad de materia seca (carbono principalmente) que ésta contenga en un momento determinado y, por lo tanto, dependiente de las etapas de desarrollo del cultivo, pero independiente del rendimiento: esto es, para aspirar a obtener el rendimiento máximo que el medioambiente permita, es necesario que esa concentración sea satisfecha; de no ser así, los rendimientos posibles que pudieran alcanzarse no serán obtenidos.

El segundo criterio, es decir, la cantidad de nutriente que la planta requiere en cada etapa de su desarrollo, es dependiente, en general, de los rendimientos y, en particular, de los rendimientos máximos posibles de obtener en cada condición específica; cuando ésta permite la obtención de mayores rendimientos, las cantidades de nutrientes que requerirá el cultivo serán mayores.

### DIAGNOSTICO DE CAMPO

El diagnóstico de campo es una técnica accesible y todos los técnicos del agro deberían estar familiarizados con ella. Se considera como el equivalente de la medicina de guerra, se ejerce en el lugar de los hechos y se cuenta con pocos recursos, pero por lo general son suficientes para salvar un cultivo.

Los otros dos niveles, invernadero y laboratorio, son importantes para confirmar los diagnósticos de campo, o en situaciones particularmente complejas, donde los recursos con que se cuenta no permiten profundizar en las causas de algún fenómeno.

El diagnóstico de campo debería ser suficiente, en la mayoría de los casos, para resolver las situaciones que se presentan con mayor frecuencia. La gran mayoría de los problemas de producción se

concentran en unas pocas causas que, bien entendidas y estudiadas, deberían ser fácilmente identificables y solucionables.

El análisis global del comportamiento de un cultivo en condiciones reales de campo, o diagnóstico del sistema de producción, es la herramienta primaria de que disponen los especialistas en producción para evaluar el desempeño de un cultivo. Este análisis está destinado a identificar él o los factores restrictivos que pudiesen presentarse. El diagnóstico del sistema se realiza mediante la inspección, generalmente visual, de los principales componentes del sistema de producción y de los factores que los influyen. Estos componentes y factores son: el suelo (su estado general, profundidad, textura, estructura, capacidad de retención de agua, presencia de sales, drenaje interno, capacidad para suministrar nutrientes, etc.); la planta (variedad, desempeño, vigor, adaptación, estado nutricional, abastecimiento de agua, etc.); el clima (temperaturas diurnas y nocturnas, radiación, probabilidad de lluvias y heladas, etc.); y el hombre, quien interviene a través del manejo general del cultivo (oportunidad de establecimiento, control de malezas, podas, etc.); el manejo del agua (cantidad y calidad del agua, salinidad, sistema de riego, drenaje, etc.); el manejo sanitario (control de plagas y enfermedades), y el manejo nutricional (deficiencias, toxicidades, desbalances).

### MEDICIONES DEL ESTADO NUTRIMENTAL

Para verificar que el estado nutricional de un cultivo sea el ideal en cada momento de su ciclo de desarrollo, se cuenta con herramientas analíticas químicas que sirven para medir concentraciones nutricionales en los tejidos vegetales y en el suelo. Las herramientas de diagnóstico que requieren de laboratorios se refieren a los análisis químicos de suelo, solución de suelo, tejido vegetal, savia, agua de riego (Reuter y Robinson, 1986; Westerman, 1990).

#### Análisis de Tejido

Los valores medidos en la planta pueden ser transformados en índices o utilizados directamente y comparados con criterios previamente establecidos como: niveles críticos, rangos de concentración, valores DRIS, y otros índices de distinta naturaleza deben ser determinados con anterioridad a la aplicación del instrumento de diagnóstico indicado (Westerman, 1990). Hoy sólo se conocen algunos de

estos valores, pero cada día se agregan más a la lista; por lo general, la información disponible se refiere a concentraciones que se deben satisfacer en ciertos órganos de la planta en momentos muy específicos de su desarrollo. La determinación de estas concentraciones de referencia puede hacerse directamente en el campo o en el laboratorio por diversos procedimientos claramente establecidos, pero que requieren de un buen control de la calidad de los análisis. El principal órgano observado es la hoja, de ahí que a la técnica se le llame diagnóstico foliar, sin embargo, es posible analizar cualquier otro órgano para el que se cuente con información sobre sus concentraciones de referencia o la savia.

El segundo enfoque, es decir, la estimación de las cantidades de nutrientes requeridas para alcanzar cierto rendimiento (establecido por las condiciones particulares de suelo y clima del sitio y por la planta y manejo en cuestión) precisa ciertos conocimientos teóricos y el empleo de técnicas análisis químico de suelo y planta. Estas últimas se emplean para medir los contenidos totales de nutrientes en la planta al momento de la colecta (cualquiera que éste sea), y son análisis que se realizan con anterioridad y sus valores son conocidos. Este dato, junto con los rendimientos esperados o posibles y los índices de cosecha respectivos, se emplea para calcular la demanda nutricional, esto es, los kilos por hectárea de un nutrimento que la planta debe poder extraer desde el suelo e incorporar a sus tejidos para alcanzar los rendimientos indicados.

El análisis de tejido vegetal tiene tres variantes bien definidas, cuyos objetivos son, en general, distintos. Estas variantes son: el análisis del total de la parte aérea de la planta, el análisis de hojas u otros órganos de referencia y el análisis de savia.

**Análisis de la parte aérea de la planta.** Los análisis de la parte aérea de la planta proporcionan información acerca de la concentración de los nutrientes en ésta y, cuando debidamente relacionados con la producción de materia seca, sobre la cantidad de cada nutriente en ella. Existen dos variantes, el análisis secuencial o en varias etapas del crecimiento y el análisis al final del ciclo de crecimiento.

**Análisis secuencial.** El análisis secuencial se hace periódicamente desde el inicio del crecimiento hasta su madurez de la planta. Se emplea para establecer la dinámica de la absorción, esto es, cuáles son las concentraciones nutricionales que se observan en distintas fases del desarrollo de la planta y las demandas particulares de nutrientes (cantidades de

nutrientes presentes en la parte aérea) en los diversos estados fisiológicos de la planta. Esta última información sirve para determinar los momentos más adecuados para la adición de fertilizantes dentro del ciclo de desarrollo del cultivo. Al estudio secuencial de nutrientes también se le conoce con el nombre de marcha de absorción nutrimental.

**Análisis al final del ciclo de crecimiento.** Los resultados de este análisis se emplean para obtener información sobre la cantidad total de elementos absorbida por la planta (exportación de nutrientes desde el suelo) y también para determinar el requerimiento interno, esto es, la concentración mínima de nutrientes que se requiere para alcanzar el rendimiento máximo posible. También se usa como indicador primario de la necesidad de fertilizantes que tiene un cultivo determinado. En general, la demanda nutrimental así medida menos la cantidad de nutriente que puede proporcionar el suelo, considerando un apropiado factor de eficiencia de uso de fertilizante, debería ser lo que se agregase como complemento nutrimental, es decir, la dosis de fertilización.

El análisis del total de la parte aérea de la planta es impráctico para frutales, especies forestales y otros cultivos similares de naturaleza perenne, por lo que el uso de órganos de referencia ha ganado popularidad con el fin de diagnosticar el estado nutrimental.

**Análisis de hojas u otros órganos de referencia.** El análisis foliar se emplea para evaluar el estado nutrimental de las plantas e indirectamente la disponibilidad de nutrimentos por el suelo. Se puede medir la concentración total de un elemento en la planta o una fracción de ésta. El análisis de plantas se emplea principalmente para diagnosticar deficiencias nutrimentales y como base para formular recomendaciones de fertilización.

El órgano que se usa con mayor frecuencia con el propósito de diagnosticar el estado nutrimental de los cultivos es la hoja, de ahí que también se le llame análisis foliar. Otros órganos pueden prestar igual utilidad, como por ejemplo: los tejidos meristemáticos nodales, los frutos, etc. El análisis foliar requiere de definiciones precisas en cuanto a la edad de la hoja a observar, orientación, altura, posición, cultivar y, en ciertos casos, hasta de la hora del día en que se hace el muestreo. La interpretación de los resultados requiere de una investigación previa para establecer niveles de referencia. De estos aspectos hablaremos en detalle cuando tratemos este tema más adelante.

El fundamento del análisis foliar es la relación que existe entre la concentración de un nutrimento en un

órgano específico de la planta, colectado en un momento también específico de su desarrollo y el rendimiento de ésta. En la Figura 1 se muestra la naturaleza de esta relación y las distintas zonas en que se ha dividido la curva de asociación. De esta división se derivan los criterios interpretativos del análisis químico vegetal.

Los principales criterios para la interpretación de los análisis de tejido vegetal son el nivel crítico de deficiencia y toxicidad y los rangos de concentración.

Se define como nivel (valor o concentración) crítico de deficiencia de la parte especificada, la concentración de un nutriente en particular, determinada en condiciones experimentales, donde todos los factores de crecimiento se encuentran en un nivel óptimo, que se asocia con un valor predeterminado del rendimiento (o calidad) máximo. Este valor predeterminado corresponde a 90 ó 95 % del rendimiento máximo y está comprendido dentro del rango bajo o marginal. La concentración nutrimental de un cultivo siempre debería mantenerse ligeramente arriba del nivel crítico.

El nivel (valor o concentración) crítico de toxicidad es el que se asocia con una reducción, por exceso nutrimental, de 5 a 20 % del rendimiento máximo.

Los rangos de concentración se han dividido en deficiente, bajo o marginal, adecuado o suficiente, alto y tóxico o excesivo. A continuación se define cada uno de ellos.

**Deficiente.** Es el rango de concentración, en la parte especificada, que se asocia con síntomas visibles de deficiencia en plantas y con una severa reducción del crecimiento y la producción. Cada vez que se encuentren valores en este rango es preciso tomar medidas correctivas inmediatas.

**Bajo o Marginal.** Este es el rango de concentraciones, en la parte especificada que se asocia con una reducción del crecimiento o producción, pero en el cual la planta no muestra síntomas visibles de deficiencia. Cuando se observan niveles de este tipo, es preciso efectuar algunos cambios en las prácticas de fertilización. Sin embargo, para ciertos cultivos pudiera ser conveniente operar en este nivel, por ejemplo en el caso de las flores.

**Adecuado o Suficiente.** Dentro de este rango de concentración, en la parte especificada, los cambios que ocurren no provocan aumentos o disminución del crecimiento o producción. Esta clase también se conoce como intermedia, normal, o satisfactoria. Si los valores de un análisis de planta caen en esta clase

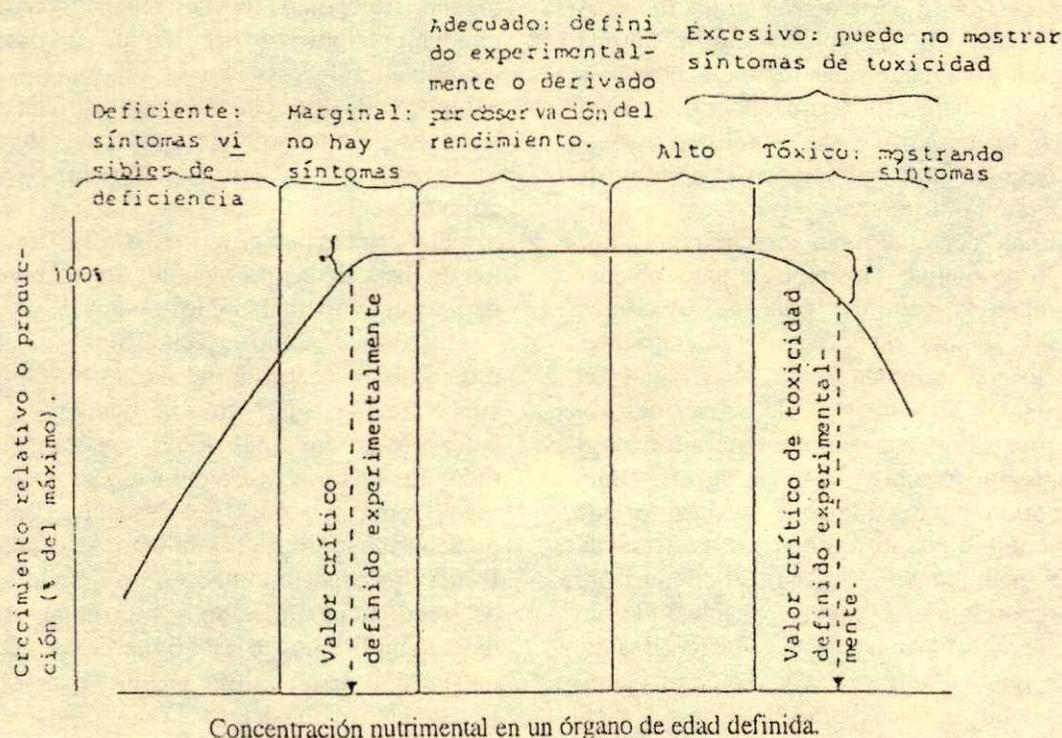


Figura 1. Diagrama que ilustra la relación entre el crecimiento y la concentración nutricional de un cultivo y el significado de los términos usados para clasificar el estado nutricional de las plantas.

no es necesario realizar ningún cambio en las prácticas de fertilización.

**Alto.** Esta clase representa el rango de concentración, de la parte especificada, comprendido entre los rangos adecuados y tóxico o excesivo. En algunos cultivos esta clase puede definirse objetivamente por su asociación con una tendencia hacia la producción de calidad o vigor indeseables. El uso de fertilizantes en las plantas que muestren concentraciones nutricionales en este rango debe reducirse o suspenderse hasta que éstas se establezcan en el rango adecuado o suficiente.

**Tóxico o Excesivo.** La presencia de concentraciones tóxicas de un nutriente, en la parte especificada, se asocia generalmente con síntomas de toxicidad y algunas veces con reducción en el rendimiento y casi siempre con reducción de calidad y vigor excesivo. Cuando se encuentran valores en este rango, es preciso tomar medidas correctivas inmediatas.

Existen otras formas de interpretar los resultados de los análisis químicos de planta, como son el DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación),

los Índices de Balance, las Relaciones Ternarias, que no discutiremos aquí.

El análisis químico de planta es de particular ayuda para diagnosticar el estado nutricional de cultivos permanentes (frutales, forestales, viñedos), pero su utilidad para cultivos anuales es limitada. La razón fundamental es que los ciclos de crecimiento de estos últimos son muy cortos y el diagnóstico ocurre muy tarde en la vida de la planta. Sin embargo, el análisis químico de plantas en especie anuales tiene amplio empleo, pero con otros propósitos, como son medir la eficiencia de uso de los fertilizantes, indicadores de calidad, etc.

Una variante del análisis químico vegetal clásico que se realiza en el laboratorio, generalmente con muestras secas, es el análisis rápido que se practica en el campo sobre muestras frescas, que por lo común emplea la savia de las plantas. Esta técnica, cuando bien empleada y calibrada, permite tomar decisiones rápidas, en el momento del diagnóstico, que contribuyen a aminorar las pérdidas de rendimiento causadas por concentraciones sub-normales de un elemento.

## Análisis de Savia

El análisis de savia consiste en extraer este líquido de toda la planta o algún órgano de referencia y determinar en él los elementos minerales y sustancias orgánicas de interés para la nutrición de la planta (Hernando y Cadahia, 1973). El análisis de savia permite conocer la situación nutrimental de una planta en un momento dado de su desarrollo. Esta es una diferencia con el análisis foliar o de planta entera, en el cual se reflejaría la situación nutrimental pasada del cultivo.

Existen dos variantes principales de esta técnica: la que permite hacer análisis rápido en el campo y otra que precisa de equipos complejos y facilidades de laboratorio, aunque el progreso tecnológico ha tendido a borrar esas diferencias y hoy se puede hacer un gran número de análisis en condiciones de campo. Aquí sólo hablaremos de los primeros.

**Análisis rápido de savia en el campo.** El objetivo principal del análisis rápido de savia en el campo es determinar una deficiencia nutrimental cuyos síntomas visuales no son aún aparentes, pero lo suficientemente intensos para provocar una disminución del crecimiento o rendimiento. Se ha empleado también para controlar prácticas de fertilización y la calidad industrial de ciertos cultivos, además de ser una herramienta útil en la diferencia entre desorden nutrimental y problema patológico.

El análisis rápido de savia se basa en reacciones colorimétricas que se producen cuando un elemento presente en la savia o un compuesto químico que contiene el elemento de interés reacciona con un reactivo específico. El color desarrollado se compara con un patrón de colores preparado y calibrado de antemano. La aceptación de esta técnica fue relativamente lenta, debido principalmente a la falta de comprensión de sus alcances cuantitativos, la falta de precisión provocada por las limitaciones visuales de detectar cambios de color y, por último, por la escasez de estudios que permitiesen relacionar los niveles nutrimentales así determinados con los rendimientos y la fertilidad del suelo.

Syltie *et al.* (1972) presentaron algunos resultados que indican que la técnica del análisis rápido de savia podía emplearse con éxito en ciertos casos y que en otros se requería de mayor estudio.

La correcta interpretación del análisis de planta no depende exclusivamente del análisis químico de su savia sino de muchos factores que influyen en su desarrollo. Entre los aspectos ligados a la nutrición

podemos señalar: absorción y transformación, fenómenos de dilución y concentración, desequilibrios, interacciones, propiedades químicas y físicas del suelo y condiciones ecológicas.

El objetivo fundamental de un diagnóstico es identificar el factor responsable del problema y su causa. Debemos recordar que una vez subsanado este problema, otro factor diferente es posible que se transforme en limitación. Esta afirmación se basa en la ley del mínimo.

## Análisis de Suelo

Los análisis de suelo se emplean para estimar la disponibilidad nutrimental de un elemento particular. Los análisis de suelo son índices de disponibilidad y no las verdaderas cantidades disponibles de un elemento (Westerman, 1990). Para la adecuada interpretación de este análisis, es preciso o contar con calibraciones, que se obtienen a través de la ejecución de costosos y complejos experimentos de campo (los cuales han sido escasamente realizados en México) o el uso de otro tipo de información también previamente establecida. La interpretación de los análisis químicos de suelos requiere de un necesario conocimiento de la teoría que los soportan, base del éxito de la misma. Una variante de los análisis químicos de suelo es la medición de las concentraciones nutrimentales en la solución de éste, que está recibiendo una atención preferente en sistemas de producción con fertirrigación. En resumen, se puede decir que los productores y técnicos de agro cuentan con una gran variedad de medios que le permiten reducir el riesgo de que los cultivos no se desempeñen óptimamente por falta de una nutrición adecuada. Este diagnóstico se realiza en varios niveles: el campo, el invernadero y el laboratorio.

Los análisis químicos de suelos que se emplean para el diagnóstico del estado nutrimental de los suelos son de dos tipos.

Los primeros miden una característica que se asocia con la fertilidad de los suelos (pH, CE, materia orgánica, capacidad de intercambio de cationes, porcentaje de saturación de bases, porcentaje de carbonato de calcio, relación de adsorción de sodio, porcentaje de sodio intercambiable, acidez y aluminio intercambiable). La interpretación de estos análisis es directa, esto es, se cuentan con tablas que tienen una validez casi universal.

Los segundos miden lo que puede llamarse un índice de la disponibilidad de un nutrimento en el suelo. Estos índices de disponibilidad pueden ser la fracción soluble, intercambiable, extraíble, fijada o mineralizable. Ejemplos de determinaciones de fracciones son: el N-nitrógeno, que es esencialmente una fracción soluble, el P soluble o extractable, la concentración de K, Ca, Mg, Na solubles, intercambiables o extractables, la concentración de Fe, Mn, Zn, Cu y Mo extractable, y el B soluble en agua. Cabe aclarar que ninguna de las cantidades medidas por estos métodos es la que realmente la planta puede utilizar, sino que éstas son cantidades que se relacionan de una manera definida con la parte disponible en el suelo, que es a la que la planta puede tener acceso. Para la interpretación de estos resultados es preciso contar con calibraciones que, en estricto rigor, deberían ser hechas para cada cultivo y tipo de suelo. La calibración se realiza estableciendo experimentos en el campo de respuesta a la aplicación de fertilizantes, en la zona y con cultivos de interés, lo cual es oneroso y requiere de tiempo. Como una forma aproximada de resolver la falta de datos de calibraciones, puede recurrirse al empleo de valores que se han generado en otras zonas y aún para otros cultivos (extrapolación), pero la precisión que se alcanza con este procedimiento es mucho más baja que la que se obtiene con el procedimiento anterior. Las extrapolaciones deben hacerse considerando el tipo de cultivo para el cual se generó la información, las características de los suelos experimentales, las condiciones climáticas de la zona, además, de los rendimientos del cultivo para los cuales se generó la información.

Una excepción a la regla anterior está constituida por la fracción soluble, la cual da una idea directa de la concentración de un elemento en la solución del suelo, es decir, del factor intensidad del nutrimento. La fracción soluble es altamente dinámica y no da idea de la capacidad de abastecimiento potencial o factor de capacidad que exhiben los suelos. El que dicha fracción dé una idea de la capacidad actual de suministro de nutrientes, ha hecho este procedimiento popular en sistemas donde la nutrición puede ser fácilmente controlada, como es el caso de la ferti-irrigación y producción en invernaderos, así como en otras circunstancias en que se trabaja en medios de alta concentración nutrimental donde no es importante contabilizar la capacidad de abastecimiento nutrimental que pudiese hacer el suelo al cultivo.

El análisis de los elementos solubles en el suelo se puede realizar directamente en la solución de suelo, en el extracto obtenido a partir de la pasta de saturación ó extracto de saturación o en una solución acuosa equilibrada con el suelo en diversas relaciones suelo:solución. El primer procedimiento se emplea generalmente para hacer análisis a nivel de campo, en tanto que los dos últimos se usan en laboratorio para estudiar muestras de suelos afectados por sales o muestras provenientes de camas de invernadero.

La solución de suelo puede ser extraída directamente, *in situ*, mediante tubos provistos de cápsulas porosas en un extremo, los cuales son enterrados a la profundidad deseada (20, 35, 50 cm), generalmente la zona de máximo crecimiento y/o abastecimiento de agua y nutrimentos. En el caso de la ferti-irrigación la cápsula porosa es colocada en la zona del suelo humedecida por el gotero o microaspersor. La solución que penetra al interior del bulbo poroso, que es hueco, se extrae por succión. En esta solución se pueden analizar las concentraciones nutrimentales en el suelo y, a partir de estos valores, establecer relaciones entre ellos.

En años recientes se han introducido nuevos conceptos para interpretar los índices de disponibilidad, como es considerar un parámetro de eficiencia del cultivo para adquirir los nutrimentos del suelo, el cual permite transformar el índice de disponibilidad medido, en el verdadero aporte que puede hacer el suelo al cultivo, es decir, la cantidad de un elemento que la planta puede absorber por cada unidad del índice químico en el suelo (Rodríguez, 1993).

Una de las ventajas del análisis químico de suelos es que el diagnóstico con esta técnica se puede hacer generalmente con antelación al establecimiento del cultivo. Sin embargo, la interpretación de su resultado precisa, como ya se indicó, de calibraciones o de la aplicación de conceptos modernos en cuanto al significado de los índices. Las calibraciones son costosas, requieren generalmente de varios años de trabajo, e idealmente deben hacerse para cada cultivo con características absortivas distintas (cereales, tubérculos, praderas, etc.). En México, las calibraciones son escasas, pero se ha hecho trabajo de selección de métodos al menos para fósforo (Etchevers *et al.*, 1986). Una desventaja del análisis químico de suelos es la necesidad de contar con una red eficiente de laboratorios químicos confiables, de la cual no siempre se dispone, vías de comunicación

eficientes, y finalmente su costo, que en el país es mucho mayor que en las naciones desarrolladas.

Una alternativa de orden semicuantitativa al análisis de suelo tradicional, es el empleo de los análisis rápidos de campo. Estos pueden funcionar si los extractantes empleados representan una fracción del nutrimento que la planta puede absorber. Desgraciadamente esta información es escasa en el país y el uso de "kits" fabricado para condiciones distintas de las prevalecientes tiene que hacerse con la debida consideración de las limitaciones que este hecho implica. Cuando el análisis se practica por esta vía, con sólidas bases teóricas, puede llegar a construir una alternativa eficaz, para decidir si hay o no que aplicar fertilizante. Cuánto aplicar, en materia de experiencia que se gana por otro conducto.

#### LITERATURA CITADA

- Etchevers, J.D., P. Anzástiga, V. Volke y G. Etchevers. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible en suelos del estado de Puebla. *Agrociencia* 65: 161-178.
- Galvis, S.A., J.D. Etchevers y J. Rodríguez S. 1993. Estimación de los rendimientos máximos alcanzables de maíz en áreas de temporal del estado de Tlaxcala. *Terra* 11: 93-99.
- Hernando, V. y C. Cadahia. 1973. El análisis de savia como índice de fertilización. Consejo Superior de Investigaciones de España, Instituto Edafología y Biología Vegetal, Madrid, España.
- Reuter, D.J. y J.B. Robinson. 1986. *Plant analysis and interpretation manual*. Inkata Press, Sydney, Australia.
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Syltie, P.W., S.W. Melsted y W.M. Walker. 1972. Rapid tissue test as indicators of yield plant composition and soil fertility for corn and soybeans. *Comm. Soil Science Plant Anal.* 3: 37-49.
- Volke H., V. y J.D. Etchevers. 1994. Recomendaciones de fertilización de cultivos: necesidades y perspectivas de una mayor precisión. Cuaderno de Edafología 21. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Westernman, R.L. (ed.). 1990. *Soil testing and plant analysis*. Third ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

# MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN LA PRODUCCION DE TOMATE EN HIDROPONIA

## Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato

Alfredo Lara Herrera<sup>1</sup>

### RESUMEN

En la última década, la producción de cultivos en hidroponía ha sido una opción adicional para abastecer de alimentos a la población. Entre otros factores, la solución nutritiva (SN) es parte fundamental en la hidroponía; de la SN depende la magnitud y calidad de la producción. Los aspectos más importantes de la SN son: la relación mutua entre los aniones y entre los cationes, la concentración de nutrimentos expresada con la conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  y la temperatura. La relación mutua entre los aniones y entre los cationes debe corresponder a la que demandan las plantas, estas relaciones deben ser modificadas en las etapas fenológicas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Las relaciones  $\text{NO}_3^- : \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{K}^+ : \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  disminuyen al pasar de la etapa vegetativa a la reproductiva y de ésta a la de desarrollo del fruto. La CE influye en la nutrición de las plantas, a CE mayores que  $6 \text{ dS m}^{-1}$  se induce diferente absorción entre los nutrimentos y, por lo tanto, desbalance entre éstos; pero una CE menor que  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , es deficiente, sobre todo en los lugares o temporadas frías. El pH de la SN determina la solubilidad de algunos nutrimentos, principalmente de P y  $\text{Ca}^{2+}$ , para evitar su precipitación, el pH debe ser mantenido entre 5.5 y 6.0. La relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  afecta la calidad y la producción de frutos, la asimilación del  $\text{NH}_4^+$  depende de la luminosidad; el  $\text{N-NH}_4^+$  debe ser menor que 20 % respecto al N total. La temperatura de la SN influye en la absorción de nutrimentos y en el contenido de oxígeno disuelto, la temperatura óptima es de  $22^\circ\text{C}$ .

**Palabras clave:** Nutrimento, catión, anión, conductividad eléctrica, sustrato, pH.

### SUMMARY

In the last decade, the hydroponic production of crops has been an additional option to supply the population with meals. The nutrient solution (NS), among other factors, plays an important role in hydroponics since the amount and quality of a crop production depend on it. The most important elements of the NS are as follows: the mutual cations and anions ratio, the nutrient concentration in terms of electrical conductivity (EC), pH, the  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio, and temperature. The mutual cations and anions ratio must correspond with that demanded by plants. These ratios must be modified in the phenological stages of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). The  $\text{NO}_3^- : \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{SO}_4^{2-}$  and the  $\text{K}^+ : \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  ratios decrease when passing from the vegetative stage to the reproductive stage and when passing from the reproductive stage to the fruit development stage. The EC has an influence on the plant nutrition. EC's larger than  $6 \text{ dS m}^{-1}$  induce different levels of absorption among nutrients and therefore causes an imbalance among them. An EC smaller than  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , however, is inefficient, mainly in cold sites or seasons. Then NS pH determines the solubility of some nutrients, mainly that of P and  $\text{Ca}^{2+}$ . So as to avoid their precipitation, pH must be kept in the range of 5.5 and 6.0. The  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio affects the quality and production of fruits, the assimilation of  $\text{NH}_4^+$  depends on luminosity; the  $\text{N-NH}_4^+$  must be lower than 20% with regard to the total N. The NS temperature has an influence on the absorption of nutrients and on the content of solved oxygen, the optimal temperature is  $22^\circ\text{C}$ .

**Index words:** Nutrient, cation, anion, electrical conductivity, substrate, pH.

### INTRODUCCION

La necesidad de incrementar la producción de alimentos de origen vegetal, la restricción de tierras aptas para la producción agrícola, la escasez de agua o la mala calidad de ésta para usarla en la agricultura,

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez 147, 98000 Zacatecas, Zac., México.  
E-mail: alara@cantera.reduaz.mx

Recibido: Febrero de 2000.  
Aceptado: Junio de 2000.

fueron algunas de las causas que estimularon a diversos investigadores a buscar alternativas para el desarrollo de las plantas. Como resultado se generó la hidroponía a nivel comercial.

La hidroponía es una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (SN) (agua y fertilizantes), con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta.

El sistema hidropónico líquido no tiene un medio de soporte; los sistemas en agregado tienen un medio sólido de soporte. Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abierto (una vez que la SN es aplicada a las raíces de las plantas, ésta no es reusada), o cerrado (la SN excedente es recuperada, regenerada y reciclada) (Jensen y Collins, 1985).

El objetivo de la Agricultura de Ambiente Controlado (AAC) consiste en modificar el ambiente natural para obtener el óptimo desarrollo de la planta. La mayoría de los sistemas hidropónicos se encuentran en invernadero, con el fin de controlar la temperatura, reducir la pérdida de agua por evaporación, controlar las infestaciones de plagas y enfermedades y proteger a los cultivos de elementos del ambiente, como el viento y la lluvia. La hidroponía forma parte de la AAC, el aspecto más importante de la hidroponía es la SN, de ella depende la nutrición de las plantas y, por ende, la calidad y cantidad de la producción.

La hidroponía es ampliamente usada en el mundo para la producción de los cultivos más rentables. El tomate es una de las especies hortícolas que más se produce en hidroponía, debido a su elevado potencial productivo (el cual no es explotado completamente en campo), a su demanda nacional y mundial, así como a su alto valor económico, principalmente cuando se produce en los periodos en que no existe en campo.

Los aspectos de la SN que en mayor medida influyen en la producción son: (1) la relación mutua entre los cationes, (2) la relación mutua entre los aniones, (3) la concentración de los nutrientes, debido a que éstos se encuentran en forma iónica, la concentración se expresa mediante la conductividad eléctrica (CE), (4) el pH, y (5) la temperatura.

El objetivo de este trabajo es presentar las aportaciones de los investigadores que han contribuido a incrementar la producción y la calidad del tomate mediante el manejo de la SN.

## TECNICAS HIDROPONICAS

La mayoría de las técnicas de producción en hidroponía son de sistema cerrado, la SN excedente se recupera y, luego de restablecer su composición química, es nuevamente utilizada. El uso más eficiente de la SN se presenta con el sistema cerrado.

Las técnicas de producción en hidroponía se clasifican en función del medio de crecimiento en que se desarrolla el sistema radical de las plantas. Al conjuntar los criterios para clasificar a las técnicas hidropónicas propuestas por Steiner (1966), Jensen y Collins (1985) y Resh (1991), se pueden clasificar en: técnicas en medio líquido (no agregado), dentro de éstas se ubican a las técnicas en película nutritiva (NFT), hidroponía en flotación y la aeroponía; en el grupo agregado se encuentran los cultivos en arena, grava (rocas porosas de origen volcánico como tezontle, perlita y zeolita), otros sustratos como la lana de roca, aserrín, turba y espumas sintéticas como el poliestireno.

La NFT es relativamente reciente, consiste en mantener en circulación una fina capa de SN en las raíces de las plantas para proveer agua y nutrientes, entre ellos el oxígeno. Las plantas crecen en canales formados por una película de polietileno, dentro de los cuales se depositan las raíces, se cubre de la luz y se hace fluir la SN. El plástico es completamente opaco en su interior, para evitar el desarrollo de algas, mientras que en su exterior es de color blanco para evitar el calentamiento de la SN y las raíces (Graves, 1983). La longitud del canal es de aproximadamente 20 m, con una pendiente entre 1.5 y 2 %. El flujo de la SN debe ser entre 60 y 120 L h<sup>-1</sup> (Jenner, 1980). Las plántulas se desarrollan en cubos de lana de roca, al trasplantarlas se colocan en el canal con todo y cubo (Cooper, 1978).

Se han efectuado adaptaciones a la NFT, pero en esencia el principio se mantiene; la diferencia fundamental consiste en la sustitución del polietileno por otros materiales como, por ejemplo: concreto recubierto con resinas para aislar a la SN del concreto, tubos de cloruro de polivinilo (PVC) con un orificio en cada punto donde se inserta la planta; sin embargo, esta modificación se ha adaptado a especies de menor altura, como por ejemplo lechuga y fresa (Graves, 1983).

La hidroponía en flotación consiste en sumergir el sistema radical en la SN, el vástago de la planta es suspendido sobre la SN con materiales ligeros e inertes, el más utilizado es la placa de unicel. La SN

continuamente es aireada. Esta técnica tiene poca aplicación en la producción de tomate. La diferencia entre la hidroponía en flotación y la aeroponía consiste en que en esta última las raíces se asperjan con la SN cada cierto tiempo con el fin de mantenerlas humedecidas. Esta técnica es poco utilizada a nivel comercial, su mayor aplicación es a nivel de laboratorio para estudios de fisiología vegetal (Resh, 1991).

Las técnicas de producción en agregado son:

**Cultivo en arena.** Esta técnica es utilizada donde la arena es el material más fácilmente disponible como en los desiertos. Las partículas deben ser menores que 2 mm y mayores que 0.6 mm de diámetro. El principal sistema de riego que se asocia a esta técnica es el riego por goteo. Se deben aplicar de dos a cinco riegos por día, dependiendo de la especie cultivada, la etapa fenológica, la variedad y las condiciones del ambiente (temperatura y humedad relativa).

**Cultivo en grava.** Su mayor uso es en los lugares donde abunda la roca volcánica. A esta técnica también se le conoce como subirrigación, debido a la asociación de este tipo de riego con este sustrato. Las partículas de grava deben tener un diámetro entre 2 y 20 mm, más de la mitad del volumen debe tener partículas de aproximadamente 12 mm de diámetro. Las partículas deben tener consistencia para evitar su fractura, capacidad para retener humedad en su espacio libre, buen drenaje para facilitar la aireación de las raíces y no deben liberar sustancias que se solubilizan en el agua (Resh, 1991). Los materiales que se utilizan en este sistema son: **la vermiculita**, es un mineral con estructura en micas, el cual es expandido cuando se calienta a 1000 °C debido a que pierde el agua que tiene atrapada entre sus láminas formando pequeños poros, es estéril, ligera (0.1 a 0.2 g cm<sup>-3</sup>), insoluble en agua, pH neutro, capacidad para amortiguar el pH, y relativamente alta capacidad de intercambio de cationes; **la perlita**, es otro mineral de origen volcánico, al calentarla a 760 °C la humedad que tiene atrapada en sus partículas es transformada a vapor, en este proceso se expanden, su peso específico es de 0.08 a 0.13 g cm<sup>-3</sup>; diámetro de 2 a 4 mm, la capacidad de retención de agua es de tres a cuatro veces su peso, no tiene capacidad para amortiguar el pH; **el tezontle**, es un mineral aluminosilicato de origen volcánico, se utiliza en forma natural, es muy utilizado en México debido a su disponibilidad.

**Cultivo en sustratos alternativos.** Otros sustratos que han sido utilizados son: **la turba**, consiste en la descomposición parcial de plantas acuáticas, de

pantanos o ciénagas. La composición química depende de la naturaleza de los materiales que le dan origen y la etapa de descomposición. **La lana de roca**, está constituida por 5 % de minerales en forma de fibras, 95 % de su espacio poroso lo ocupan el agua y el aire, 80 % y 15 %, respectivamente. Este material es producido a partir de rocas volcánicas, piedra caliza y carbón mineral, fundidos a 1800 °C. No se degrada químicamente y es biológicamente inofensivo. Tiene varias presentaciones comerciales, según el uso al que se le destine, existen cubos de aproximadamente 7.5 cm de cada lado, cada cubo tiene un orificio en el centro de la cara superior, en el que se coloca la plántula para su posterior desarrollo, cuando el sistema radical empieza a exceder el volumen del cubo, si el desarrollo posterior de la planta se va a efectuar en NFT, se coloca el cubo con la planta en el interior de la película plástica de polietileno donde fluye la SN; si la planta continúa su desarrollo en lana de roca, el cubo con la planta se coloca sobre un bloque de este material recubierto de una película plástica con una perforación donde se coloca el cubo con la planta, las dimensiones más comunes del bloque son 90 x 30 x 7.5 cm (longitud x anchura x altura), al continuar creciendo la planta, sus raíces se desarrollarán en el bloque. El riego se aplica por goteo en el cubo, a partir del cual la SN se difunde hasta el bloque. Este tipo de sistema es abierto; es decir, la SN que se aplica la absorbe la planta, la retiene el sustrato o una pequeña fracción se evapora.

Entre los materiales que se utilizan en las diferentes técnicas hidropónicas, aunque algunos tienen ventajas sobre otros, todos han sido importantes en la producción. La selección de la técnica y del sustrato depende, además de las propiedades físicas y químicas de los materiales, de la disponibilidad y del precio.

## LA SOLUCION NUTRITIVA

La SN consiste en agua con oxígeno y los nutrientes esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de fierro forman parte de la SN (Steiner, 1968). Para que la SN tenga disponibles los nutrientes que contiene, debe ser una solución verdadera, todos los iones se deben encontrar disueltos. La pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrientes puede ocasionar su deficiencia en la planta. Además, de este problema se genera un desbalance en la relación mutua entre los iones (Steiner, 1961).

En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tienen las plantas son satisfechas con los nutrimentos que se suministran en la SN. La cantidad de nutrimentos que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales (Carpena *et al.*, 1987; Adams, 1994b).

Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una SN con características específicas. De acuerdo con Graves (1983) y Steiner (1984), las principales características que influyen en el desarrollo de los cultivos y sus productos de importancia económica son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (representada por la CE), el pH, la relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  y la temperatura de la SN.

### Relación Mutua entre los Aniones

El concepto de relación mutua entre iones fue empleado por Steiner (1961). Se basa en que la SN debe estar balanceada en sus macronutrimentos:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , para el caso de los aniones. El balance consiste no sólo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por la otra.

Steiner (1968) señaló, respecto a la concentración de un ion, que el problema más importante es la relación que tiene respecto a los otros dos iones de su misma carga eléctrica; una inadecuada relación entre los iones puede disminuir el rendimiento.

La relación mutua entre los aniones por una parte y los cationes por otra, correspondientes a seis formulaciones de soluciones nutritivas que se han empleado en hidroponía para la producción de tomate,

se presenta en forma porcentual para cada macronutriente en el Cuadro 1. Las diferencias en las relaciones entre los iones que resultan de las soluciones nutritivas se deben, en parte, a que éstas se generaron en condiciones ambientales diferentes, además, ninguna de las SN fue formulada específicamente para una cierta etapa fenológica.

Los nutrimentos que demandan las plantas en la relación mutua entre aniones y entre cationes, dependen de la etapa fenológica. Con base en lo reportado por Resh (1991), Valenzuela *et al.* (1993) y Gertsson (1995), el paso de una etapa fenológica a otra se caracteriza por cambios en la actividad bioquímica y en la reestructuración del metabolismo primario. Estas fluctuaciones influyen en toda la planta y en la composición química de sus órganos en cada etapa.

Con excepción de  $\text{Ca}^{2+}$  y en algunos casos  $\text{Fe}^{2+}$  (Sanchez-Alonso y Lachica, 1987) y B (Marschner, 1995) el contenido de nutrimentos, con base en la materia seca, disminuye en la medida que avanza la edad de la planta o de sus órganos. Esta disminución es causada principalmente por un incremento relativo del material estructural (paredes celulares y ligninas) y compuestos almacenados (almidones) en la materia seca (Marschner, 1995). A lo largo del desarrollo de la planta se presentan cambios en la composición química en algunos nutrimentos con relación a la materia seca producida principalmente en las hojas. Los niveles de N, P y  $\text{K}^+$  muestran una tendencia a disminuir durante el ciclo vegetativo, mientras que  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  tienden a incrementar. Con el fin de proveer información acerca de la actividad metabólica de las plantas a través de su ciclo de desarrollo, Valenzuela *et al.* (1993) propusieron el índice vegetativo (IV) el cual lo representan con la siguiente ecuación:

**Cuadro 1. Relación mutua entre aniones y relación mutua entre cationes con base en el porcentaje respecto al total de mol, de aniones o de cationes (Adaptado de: Steiner, 1961; Asher y Edwards, 1983; Jensen y Collins, 1985; Resh, 1991).**

Solución	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
Aniones				Cationes			
Knop (1865) <sup>1</sup>	79	10	11	23	66	11	†
Robbins (1946) <sup>2</sup>	74	5	21	26	53	21	†
Hoagland y Arnon (1950) <sup>3</sup>	74	5	21	32	42	21	5
Steiner (1961)	60	5	35	35	45	20	†
Resh (1981)	44	8	48	40	40	12	8
Graves (1983)	50	6	44	40	44	16	†

<sup>1</sup> No incluye a este ion.

<sup>2</sup> Citado por Resh (1991).

<sup>3</sup> Citados por Asher y Edwards (1983).

$$IV = \frac{N + 10P + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 0.365$$

en la medida que avanza la ontogenia de la planta, el IV disminuye.

La edad de algunos órganos de la planta influye en su composición mineral. A pesar de la alta movilidad del  $NO_3^-$  en la planta, en la savia del peciolo de la hoja más joven manifiesta variaciones en su concentración, principalmente cuando la composición química de este anión en la SN es insuficiente. Pero la concentración de N total en las hojas (jóvenes y adultas) (Huett y Rose, 1988) y en hojas y tallo (Carpena *et al.*, 1987) disminuye a lo largo del desarrollo. Sin embargo, para algunas variedades de tomate este comportamiento no ocurre de esa manera (Sarro *et al.*, 1986).

La concentración de nutrimentos poco móviles en la planta, como el  $Ca^{2+}$ , presenta mayor diferencia en las hojas más jóvenes comparando un adecuado con un insuficiente suministro de este nutrimento en la SN. El contenido de  $Ca^{2+}$  en las hojas (jóvenes y adultas) aumenta conforme pasa de una etapa fenológica a otra (Huett y Rose, 1988), lo mismo ocurre en hojas, tallo y raíces (Carpena *et al.*, 1987) y en la planta completa (Steiner, 1973).

Con base en la composición química de la planta de tomate durante su desarrollo, Sarro *et al.* (1986), Gertsson (1995) y Alarcón *et al.* (1997) la dividieron en tres periodos, que corresponden a las etapas de: floración, fructificación y maduración. Carpena *et al.* (1987; 1988) evaluaron cinco etapas: crecimiento vegetativo, floración, fructificación, inicio de maduración y maduración. Sin embargo, en todos los casos las plantas fueron tratadas con la misma SN en todas las etapas, no se modificó la relación mutua entre los aniones ni entre los cationes en la SN.

Previamente a la etapa de fructificación del tomate, las hojas y el tallo son los órganos que acumulan mayor cantidad de nutrimentos en sus tejidos. Luego, los frutos presentan la mayor demanda. Las raíces presentan pocos cambios en la acumulación de nutrimentos (Tapia y Gutiérrez, 1997). Al final del ciclo de desarrollo de la planta, de 60 a 70 % del N, P o  $K^+$  absorbidos se acumulan en los frutos (Dumas, 1990).

En la medida que cambia la etapa fenológica de la planta, la relación mutua entre los aniones acumulados en la planta se modifica. El  $NO_3^-$  disminuye su

relación a expensas de  $SO_4^{2-}$  y en menor medida de  $H_2PO_4^-$ .

Con base en lo mencionado en el párrafo anterior y en resultados aún no publicados por el autor de esta revisión de literatura, la relación  $NO_3^- : (H_2PO_4^- + SO_4^{2-})$  disminuye en la medida que la planta pasa de una etapa fenológica a otra. En la etapa vegetativa (hasta la antesis de la tercera flor del primer racimo) el mayor desarrollo de la planta se presentó con la relación 70 : 30, luego esta relación cambió a 60 : 40 en la etapa reproductiva (de la antesis de la tercera flor en el primer racimo, a la formación de semilla en los frutos del primer racimo) y para la etapa de desarrollo del fruto (de la formación de la semilla en los frutos del primer racimo, a la maduración de los frutos del 15° racimo) se proyectó como la mejor SN la relación 50 : 50.

Esta dinámica de relaciones entre aniones tuvo correspondencia con las relaciones que presentaron en las soluciones nutritivas del Cuadro 1, en el mismo orden cronológico en que estas soluciones fueron formuladas, las soluciones de Knop, de Robbins y de Hoagland y Arnon presentan mayor correspondencia con los requerimientos nutrimentales que presentan las plantas de tomate en la etapa vegetativa; la solución Steiner, de acuerdo con el mismo razonamiento, es más apropiada para la etapa reproductiva y las soluciones de Resh y de Graves presentan un balance entre aniones que corresponde mejor a las necesidades de las plantas en la etapa de desarrollo de los frutos.

### Relación Mutua entre los Cationes

Los macronutrimentos que contiene la SN en forma de cationes son  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , algunas de las soluciones incluyen al  $NH_4^+$  (Cuadro 1). De manera similar a lo explicado para los aniones, la relación mutua entre los cationes contenidos en la planta es dinámica en su ontogenia. El  $K^+$  disminuye en forma proporcional a la que se incrementa el  $Ca^{2+}$ , el  $Mg^{2+}$  sufre pocos cambios (Steiner, 1973).

La demanda y, por lo tanto, la absorción de los macronutrimentos no son lineales durante el desarrollo de la planta, esto trae como consecuencia que también deba sincronizarse la relación mutua entre los iones en la SN. De no hacerlo así, se pueden generar desbalances nutrimentales, como por ejemplo el antagonismo entre  $K^+$  y  $Ca^{2+}$  (De Kreij *et al.*, 1992; Adams y Ho, 1993),  $K^+$  y  $Mg^{2+}$  (Bouma, 1983; Pujos

y Morard, 1997),  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Adams 1994a; Morard *et al.*, 1996),  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  (Miliev, 1997),  $\text{NH}_4^+$  con  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Goyal y Huffaker, 1984; Guill y Reisenauer, 1993).

Para elegir la SN apropiada en cada caso, deben tomarse en cuenta las condiciones del ambiente. Debido a la relación existente entre la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  y de agua por parte de la planta, la interacción de los factores ambientales y la relación mutua entre los cationes tienen gran influencia en la nutrición de las plantas. En tomate, al aumentar la presión de vapor en la atmósfera, disminuye el flujo de transpiración y, por ende, la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$ , si además la SN tiene una relación  $\text{Ca}^{2+} : (\text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+)$  baja (menor que 40 : 60) es muy probable que se manifiesten algunos problemas fisiológicos derivados de un desbalance nutricional, como es el caso de la pudrición apical (Adams y Ho, 1993).

Con base en la demanda de cationes por parte de la planta, y a resultados aún no publicados, la relación mutua entre  $\text{K}^+ : (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+)$ , expresada en porcentaje de mol,  $\text{m}^{-3}$ , disminuye al pasar de una etapa fenológica a otra. En la etapa vegetativa el mayor desarrollo se presentó con la relación 42 : 58, al pasar a la etapa reproductiva esta relación cambió a 35 : 65, y en la etapa de desarrollo de los frutos la SN con la que se proyectó un incremento en el desarrollo de la planta fue con la relación 28 : 72.

Esta dinámica de relaciones entre cationes tuvo correspondencia con las relaciones que tuvieron estos cationes en las soluciones nutritivas del Cuadro 1. Sin embargo, el orden en que se presentaron fue contrario a la secuencia cronológica en que se formularon esas soluciones, por lo tanto, tuvieron el comportamiento contrario a la secuencia en que ocurrieron las relaciones mutuas entre los aniones: es decir, las soluciones de Resh y Graves presentaron mayor correspondencia con las necesidades nutricionales de las plantas en la etapa vegetativa, las soluciones de Hoagland y Arnon y de Steiner tuvieron la relación mutua entre los aniones apropiada para la etapa reproductiva y las soluciones de Knop y Robbins para la etapa de desarrollo del fruto.

### Conductividad Eléctrica (CE) de la Solución Nutritiva

Existe una relación directa entre la concentración de nutrientes y la CE de la SN. Al aumentar la CE, la planta debe destinar mayor energía para absorber agua y nutrientes (Asher y Edwards, 1983; Ehret y

Ho, 1986a). Este desgaste de energía puede ser en detrimento de energía metabólica. El conjunto de estos fenómenos puede ser reflejado en una disminución del desarrollo de la planta.

La CE de la SN influye en la composición química de las plantas, al aumentar la CE aumenta la concentración de  $\text{K}^+$  en las plantas a expensas principalmente de  $\text{Ca}^{2+}$ . También se incrementa la concentración de P y en menor medida la de  $\text{NO}_3^-$ , ambos a costa de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Este comportamiento se presenta independientemente de la etapa de desarrollo (Steiner, 1973).

En la medida que la SN aumenta su CE, disminuye la capacidad de la planta para absorber agua (Ehret y Ho, 1986b; Adams, 1994a) y nutrientes (Steiner, 1973). Pero una SN con CE menor que la que requieren las plantas (menor que 2  $\text{dS m}^{-1}$ ), puede inducir deficiencias nutricionales. Al aumentar la CE de la SN a más de 6  $\text{dS m}^{-1}$ , además de inducir una deficiencia hídrica, aumenta la relación  $\text{K}^+ : (\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+)$ , ocasionando desbalances nutricionales. No todos los nutrientes son afectados en igual medida. Los que se mueven por flujo de masas, como el  $\text{Ca}^{2+}$  y en menor medida el  $\text{Mg}^{2+}$  se absorben en menor cantidad, de esta manera se puede inducir deficiencia de  $\text{Ca}^{2+}$  (Ehret y Ho, 1986b).

La CE apropiada para la producción de tomate está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura y luz). Steiner (1973) y Resh (1991) observaron que las plantas toleran una mayor CE en invierno que en verano.

La respuesta que presentan las plantas a la CE es diferente, existen variedades de tomate adaptadas para ser nutridas con soluciones de CE elevada, lo cual permite su explotación con aguas salinas, no aptas para ser usadas en campo (Satti *et al.*, 1994). Graves y Hurd (1983) y Satti *et al.* (1996) reportaron que al aumentar la CE de la SN se obtiene, a costa de un menor rendimiento, un incremento en la calidad de los frutos: firmeza, contenido de sólidos solubles y acidez titulable.

### pH de la Solución Nutritiva

El pH de la SN es una propiedad inherente de la composición mineral (De Reijck y Schrevens, 1998). El pH óptimo de la SN es entre 5.5 y 6.0, de esta manera se logra:

**Regular el contenido de  $\text{HCO}_3^-$ .** En forma natural el agua contiene  $\text{HCO}_3^-$ , este ion se transforma a  $\text{CO}_3^{2-}$  cuando el pH es mayor que 8.3, ó a  $\text{H}_2\text{CO}_3$  cuando el pH es menor que 3.8, este ácido en la solución se encuentra en equilibrio químico con el bióxido de carbono de la atmósfera ( $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). A pH mayor que 8.3 el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  se precipitan fácilmente en forma de carbonatos. Una concentración de  $\text{HCO}_3^-$  mayor que  $10 \text{ mol m}^{-3}$  puede ser tóxica para las plantas (Ayers y Westcot, 1987). La forma de disminuir el contenido de este ion es neutralizándolo con un ácido fuerte, por ejemplo:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ó  $\text{HNO}_3$ .

**Solubilizar al  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ .** La principal forma en que el fósforo es absorbido por las plantas es  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Al igual que el  $\text{HCO}_3^-$ , el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  está sujeto a cambiar a otras formas derivadas de la disociación del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , en la medida que aumenta el pH aumenta el grado de disociación de este ácido. Entre el pH de 5.5 y 6.0 predomina el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , en relación con el  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , ó al  $\text{HPO}_4^{2-}$ , pero en la medida que aumenta el pH aumenta la proporción de  $\text{HPO}_4^{2-}$  respecto a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . El  $\text{HPO}_4^{2-}$  se precipita con el  $\text{Ca}^{2+}$  cuando el producto de la concentración de estos dos iones, expresado en  $\text{mol m}^{-3}$ , es mayor que 2.2 (Steiner, 1984). En general, son estos dos iones los que precipitan en un intervalo más amplio de pH (De Reijck y Schrevens, 1998).

**Evitar la precipitación de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ .** La solubilidad de estos dos iones también está en función del pH; en la medida que éste aumenta, la solubilidad de esos cationes disminuye. Para el caso del hierro, en hidroponía se recomienda el uso de la forma  $\text{Fe}^{2+}$  (reducida), la forma (oxidada)  $\text{Fe}^{3+}$  es menos soluble, ésta precipita como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (De Reijck y Schrevens, 1998). El  $\text{Fe}^{2+}$  tiende a oxidarse, una forma de controlar su solubilidad es evitando que el pH sea mayor que 6. Otra forma es aplicar el  $\text{Fe}^{2+}$  en forma de quelato, por ejemplo la sal disódica del EDTA.

### Relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$

El  $\text{NO}_3^-$  es la principal forma química en que las plantas se abastecen de N; sin embargo, una pequeña fracción en la forma de  $\text{NH}_4^+$  presenta algunos beneficios en la nutrición de las plantas de tomate. El pH de la SN puede variar dependiendo de la relación en la absorción de aniones y de cationes, en la medida que las plantas absorben más aniones el pH de la SN aumenta. La principal causa de la variación de la relación en la absorción entre aniones y cationes depende de la forma química en que se administre el N en la SN (Guill y Reisenauer, 1993).

El pH de la SN se amortigua cuando una parte del N se adiciona en forma de  $\text{NH}_4^+$ . Graves (1983) y Steiner (1984) reportaron que no más de 10 % del N debe ser administrado en forma de  $\text{NH}_4^+$ , pero McElhannon y Mills (1978) y Sasseville y Mills (1979) señalaron que la mayor producción de tomate se tuvo con 20 % de N- $\text{NH}_4^+$  con relación al N total. En México, Caraveo (1994) encontró los mejores resultados cuando la SN tuvo 16.6 % de  $\text{NH}_4^+$ . La razón de la variación de la respuesta a diferentes relaciones  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  se debe al efecto que tiene esta relación en función de la variedad, la etapa de desarrollo de la planta y la luminosidad, entre otros fenómenos (Mengel y Kirkby, 1987).

La absorción de  $\text{NH}_4^+$  requiere de su inmediata asimilación debido a que este ion es tóxico a la planta. Su asimilación consume energía, la cual depende de la energía luminosa; la administración de  $\text{NH}_4^+$  en días nublados puede reducir el rendimiento (Veen y Kleimendort, 1985).

El  $\text{NO}_3^-$  puede ser asimilado para sintetizar compuestos orgánicos, o almacenado en las vacuolas. Este último tiene entre sus funciones regular el balance entre cationes y aniones, por osmorregulación (Granstedt y Huffaker, 1982). En el proceso de asimilación del  $\text{NO}_3^-$ , las raíces liberan iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  a la SN y se sintetizan aniones de ácidos orgánicos con el fin de mantener el balance de cargas (aniones y cationes) y el pH (ácidos y bases) en la vacuola (Martínez *et al.*, 1994; Marschner, 1995).

### Temperatura de la Solución Nutritiva

La temperatura de la SN influye en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayoría de las variedades de tomate es de aproximadamente 22 °C, en la medida que la temperatura disminuye también disminuye la absorción y asimilación de los nutrimentos (Cornillon, 1988). Sin embargo, Adams (1994b) reportó que la temperatura de la SN tiene aún mayor efecto en la absorción de P que de N y agua. Con temperaturas menores que 15 °C, Moorby y Graves (1980) encontraron deficiencias de  $\text{Ca}^{2+}$ , P y  $\text{Fe}^{2+}$ . A bajas temperaturas la suberización de la endodermis se extiende al ápice de la raíz e influye en la absorción de los nutrimentos. La deficiencia de  $\text{Ca}^{2+}$  debida a la baja temperatura ocasiona mayor incidencia en la pudrición apical del fruto (Graves, 1983).

En el agua, además de disolver las sales que corresponden a los nutrimentos, en forma natural se

disuelve el oxígeno que requieren las raíces de las plantas. La temperatura de la SN tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta e inversa con el oxígeno disuelto en la SN. A temperatura menor que 22 °C el oxígeno disuelto en la SN es suficiente para abastecer la demanda de este nutrimento; sin embargo, el requerimiento es pequeño debido a que se reduce la velocidad de un buen número de procesos fisiológicos, entre ellos la respiración y, por lo tanto, también se reduce el crecimiento de la planta. A temperaturas mayores que 22 °C las condiciones son contrarias, la gran demanda de oxígeno no es satisfecha por la SN debido a que a mayor temperatura aumenta la difusión de este gas. Con altas temperaturas de la SN también se incrementa el crecimiento vegetativo en una magnitud mayor que la deseable y disminuye la fructificación (Graves, 1983).

El control de la temperatura de la SN es un factor que adquiere importancia secundaria en los lugares de clima templado. En las zonas o temporadas frías, es conveniente tener un sistema de calefacción para la SN. Es necesario evitar temperaturas menores que 15 °C para prevenir la reducción de la absorción de nutrimentos (Moorby y Graves, 1980). Lo ideal es mantenerla lo más cercana posible a 22 °C.

### CONCLUSIONES

Los factores de la SN que tienen mayor influencia en la producción de tomate en hidroponía son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (CE), la relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ , el pH, y la temperatura.

No existe una SN que sea apropiada para cualquier condición, los cuatro primeros factores dependen de las condiciones del ambiente, las características genéticas y la etapa de desarrollo de la planta. El pH para cualquier condición debe ser mantenido entre 5.5 y 6.0 y la temperatura lo más cercana a 22 °C.

Un inapropiado manejo de la SN en cualquiera de estos factores o la interacción entre ellos, afecta la nutrición de la planta y, por ende, el rendimiento y la calidad de los frutos.

### LITERATURA CITADA

- Adams, P. 1994a. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. *Acta Hort.* 361: 245-257.
- Adams, P. 1994b. Some effects of the environment on the nutrition of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 366: 405-416.
- Adams, P. y L.C. Ho. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and the incidence of blossom-end rot. *Plant Soil* 154: 127-132.
- Alarcón, A.L., R. Madrid y C. Egea. 1997. Hydric and nutrient element nutrition of a tomato crop on rockwool: ionic interrelationships. *J. Plant Nutr.* 20: 1811-1828.
- Asher, C.J. y D.G. Edwards. 1983. Modern solution culture techniques. pp. 94-119. *In:* A. Pirson y M.H. Zimmermann (ed.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Vol. 15-A. Springer-Verlag, Berlin.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO, Serie riego y drenaje No. 29. Roma, Italia.
- Bouma, D. 1983. Diagnosis of mineral deficiencies using plant test. pp. 120-146. *In:* A. Pirson, and M.H. Zimmerman (ed.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Vol. 15-A. Springer-Verlag, Berlin.
- Caraveo L., F.J. 1994. Relaciones nutrimentales en el cultivo hidropónico de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) empleando el polvo de bonote de coco como sustrato. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Carpena, O., A.M. Rodríguez y M.J. Sarro. 1987. Evaluación de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. *An. Edafol. Agrobiol.* 46: 117-127.
- Carpena, O., A.M. Rodríguez y M.J. Sarro. 1988. Nutrient uptake by two cultivars of tomato plants. *Plant Soil* 105: 294-296.
- Cooper, A.J. 1978. Methods of establishing young plants in a nutrient film tomato crop. *J. Hort. Sci.* 53: 189-193.
- Cornillon, P. 1988. Influence of root temperature on tomato growth and nitrogen nutrition. *Acta Hort.* 229: 211-218.
- De Kreijck, C., J. Jansen, B.J. van Goor y J.D.J. van Doesburg. 1992. The incidence of calcium oxalate crystals in fruit walls of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by humidity, phosphate and calcium supply. *J. Hort. Sci.* 67: 45-50.
- De Reijck, G. y E. Schrevens. 1998. Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. *J. Plant Nutr.* 21: 861-870.
- Dumas, Y. 1990. Tomatoes for processing in 90's: nutrition and crop fertilization. *Acta Hort.* 277: 155-166.
- Ehret, D.L. y L.C. Ho. 1986a. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *An. Bot.* 58: 679-688.
- Ehret, D.L. y L.C. Ho. 1986b. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 37: 1294-1302.
- Gertsson, U.E. 1995. Nutrient uptake by tomatoes grown in hydroponics. *Acta Hort.* 401: 351-356.
- Goyal, S.S. y R.C. Huffaker. 1984. Nitrogen toxicity in plants. pp. 97-117. *In:* R.D. Hauck (ed.). *Nitrogen in crop production*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wi., U.S.A.
- Granstedt, R.C. y R.C. Huffaker. 1982. Identification of the leaf vacuole as a major nitrate storage pool. *Plant Physiol.* 70: 410-413.
- Graves, C.J. 1983. The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5: 1-44.
- Graves, C.J. y R.G. Hurd. 1983. Intermittent circulation in the nutrient film technique. *Acta Hort.* 133: 47-52.
- Guill, M.A. y H.M. Reisenauer. 1993. Nature and characterization of ammonium effects on wheat and tomato. *Agron. J.* 85: 874-879.

- Huett, D.O. y G. Rose. 1988. Diagnostic nitrogen concentrations for tomatoes grown in sand culture. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 401-409.
- Jenner, G. 1980. Hydroponics -reality or fantasy?. *Scientia Hort.* 31: 19-26.
- Jensen, M.H. y W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.* 483-559.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Ed. Academic Press. San Diego, Ca., USA.
- Martines, V., J.M. Núñez, A. Ortiz y A. Cerda. 1994. Changes in amino and organic acid composition in tomato and cucumber plants in relation to salinity and nitrogen nutrition. *J. Plant Nutr.* 17: 1359-1368.
- McElhannon, W.S. y H.A. Mills. 1978. Influence of percent  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  on growth, N absorption, and assimilation by lima beans in solution culture. *Agron. J.* 70: 1027-1032.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Miliev, K. 1997. Effects of two nutrient solutions at different conductivities on some growth parameters of tomato plants. *Acta Hort.* 462: 641-648.
- Moorby, J. y C.J. Graves. 1980. The effects of root and air temperature on the growth of tomatoes. *Acta Hort.* 98: 29-43.
- Morard, P., A. Pujos, A. Bernadac y G. Bertoni. 1996. Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and nutrition. *J. Plant Nutr.* 19: 115-127.
- Pujos, P. y P. Morard. 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. *Plant Soil* 189: 189-196.
- Resh, H.M. 1991. Hydroponic food production. 4th edition. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbara, Ca, USA.
- Sánchez-Alonso, F. y M. Lachica. 1987. Seasonal trends in the mineral content of sweet cherry leaves. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18: 17-29.
- Sarro, M.J., C. Cadahia L. y J.M. Peñalosa. 1986. Control de un cultivo hidropónico de tomate en enarenado y condiciones salinas a diferentes programas de fertilización fosfórica. *An. Edafol. Agrobiol.* 42: 831-846.
- Sasseville, D.N. y H.A. Mills. 1979. N from and concentration: effects on N absorption growth, and total N accumulation with southern peas. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 104: 586-591.
- Satti, S.M.E., A.A. Ibrahim y S.M. Al-Kindi. 1994. Enhancement of salinity tolerance in tomato: implications of potassium and calcium in flowering and yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 2825-2840.
- Satti, S.M.E., R.A. Al-Yhyai y F. Al-Said. 1996. Fruit quality and partitioning of mineral elements in processing tomato in response to saline nutrients. *J. Plant Nutr.* 19: 705-715.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Steiner, A.A. 1966. The influence of chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil* 24: 454-466.
- Steiner, A.A. 1968. Soilles culture. pp. 324-341. *In: Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute.* Florence, Italy.
- Steiner, A.A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. pp. 43-53. *In: Proceedings 3rd International Congress on Soilles Culture.* Wageningen, The Netherlands.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture.* Wageningen, The Netherlands.
- Tapia, M.L. y V. Gutiérrez. 1997. Distribution pattern of dry weight, nitrogen, phosphorus, and potassium through tomato ontogenesis. *J. Plant Nutr.* 20: 783-791.
- Valenzuela, J.L., M. Guzmán, A. Sánchez, A. del Río y L. Romero. 1993. Relationship between biochemical indicators and physiological parameters of nitrogen and physiological plant age. pp. 215-257. *In: M.A.C. Fragozo y M.L. van Beusichem (eds.). Optimization of Plant Nutrition.* Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Veen, B.W. y A. Kleimendort. 1985. Nitrate accumulation and osmotic regulation in Italian rygrass (*Loilum multiflorum* Lam.). *J. Exp. Bot.* 36: 211-218.

# UTILIZACION DE SUSTRATOS EN VIVEROS

## Use of Growing Mediums in the Nursery Production

J. Narciso Pastor Sáez

### RESUMEN

El desarrollo de la tecnología agrícola, basada primordialmente en el uso eficiente de los recursos naturales, investiga y propone las mejores alternativas viables para la producción de cultivos. Tal es el caso de los productores agrícolas, forestales y ornamentales que demandan un sustrato adecuado y acorde al sistema de producción seleccionado (hidropónica o viverística). En consecuencia, el mercado actual ofrece una diversidad de estos materiales, los cuales presentan propiedades físicas, químicas y biológicas propias para un buen desarrollo de las plantas; sin embargo, aspectos como el precio, el manejo, la finalidad, la productividad y la disponibilidad de estos sustratos son factores decisivos en el éxito o fracaso en la utilización de los mismos.

*Palabras clave:* Sustrato, viverismo, hidroponía.

### SUMMARY

Agricultural technology development, based on efficient use of natural resources, researches and proposes the best feasible alternatives for crop production. In the case of vegetables, forest and ornamental growers, they are demanding a growing medium according to selected production system (hydroponics or nursery). Actually, the commercial market offers a diversity of growing mediums, it should have physical, chemical and biological properties for a good development of the plants; however, other aspects, such as price, management, purpose, productivity and availability, are critical factors for the success or failure of a growing medium.

*Index words:* Growing medium, nursery, hydroponics.

Universidad de Lleida, Dept. de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería, Avda. Rovira Roure, 177, 25198 - Lleida (España)  
E-mail: [Pastor@hbj.udl.es](mailto:Pastor@hbj.udl.es)

Recibido: Febrero de 2000.

Aceptado: Junio de 2000.

### INTRODUCCION

Durante los últimos años, todas las ciencias están experimentando avances tecnológicos importantes. Afortunadamente la agricultura también se está beneficiando de toda esta revolución tecnológica; en este sentido, se ponen a disposición del agricultor variedades más competitivas y productivas que las tradicionales, nuevos materiales (sistemas de fertirrigación, materiales de cobertura, etc.) que permiten un control ambiental más exhaustivo en alguna de las fases del proceso productivo de las plantas. Junto a todos estos cambios tecnológicos se observa como se está sustituyendo, de manera cada vez más importante, el cultivo tradicional en suelo por el cultivo hidropónico y en sustrato (Abad y Noguera, 1997). Lógicamente, este fenómeno ha sido más pronunciado en aquellos sectores más intensivos de la agricultura, como es el caso de la producción hortícola y ornamental.

Entre las distintas razones que han ido provocando esta sustitución podrían destacarse especialmente dos: a) la presencia cada vez mayor de factores limitativos para la continuidad de cultivos intensivos en pleno suelo (agentes fitopatógenos, salinidad, etc.) que obliga a adoptar técnicas productivas alternativas. En este sentido encaja perfectamente la problemática que están experimentando algunas zonas con una importante tradición productiva hortícola y ornamental, pero que, debido a la continuidad e intensidad de los cultivos durante bastantes años, hace que el elemento "suelo" esté enormemente degradado y tengan que adoptarse soluciones alternativas y b) la necesidad de transportar plantas completas a distintos lugares de donde fueron cultivadas; este hecho es muy habitual cuando se trata de plantas ornamentales en las que su lugar de producción puede distar significativamente del lugar de comercialización o consumo (no es extraño que esta distancia alcance varios miles de kilómetros).

El desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo de plantas en contenedor (Burés, 1997); parece que la propia demanda desde el sector productivo es la que ha obligado a desarrollar materiales adecuados que puedan ser utilizados

satisfactoriamente en el cultivo de plantas en contenedor.

El cultivo de plantas en sustrato presenta diferencias sustanciales respecto del cultivo de plantas en pleno suelo (Abad, 1993). Al cultivar en contenedor las características de éste resultan decisivas en el correcto crecimiento de la planta, ya que se produce una clara interacción entre las características del contenedor (altura, diámetro, etc.) y el manejo del complejo planta-sustrato. En el caso del cultivo de plantas en contenedor el volumen de sustrato es limitado y de él las plantas absorberán el oxígeno, agua y nutrimentos. Por otra parte, hay referencias que indican que en el cultivo intensivo de plantas, en el que las temperaturas están controladas y los niveles de nutrimentos en el sustrato acostumbran a ser altos, se produce una mayor absorción de agua y transpiración por parte de la planta, debido a que el tiempo de apertura de estomas es superior (Abad, 1993); esto obliga a regar frecuentemente para que en todo momento exista agua fácilmente disponible en el sistema radicular, lo que sin duda puede ocasionar problemas por falta de aireación. Por lo anterior, es conveniente emplear sustratos con una elevada porosidad. Esta es la causa fundamental de que un suelo agrícola no pueda ser utilizado para el cultivo en contenedor.

### LOS SUSTRATOS EN LA PRODUCCION VIVERISTICA

El término "sustrato", que se aplica en la producción viverística, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada. Esto último, clasifica a los sustratos en químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) y químicamente activos (turbas, corteza de pino, etc.).

En el caso de los materiales químicamente inertes, éstos actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que en los restantes intervienen además en procesos de adsorción y fijación de nutrimentos.

Las características de los sustratos pueden ser:

#### Características Físicas

Estas vienen determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y el tipo de empaquetamiento. Algunas de las más destacadas son:

- Densidad real y aparente
- Distribución granulométrica
- Porosidad y aireación
- Retención de agua
- Permeabilidad
- Distribución de tamaños de poros
- Estabilidad estructural

#### Características Químicas

Estas propiedades vienen definidas por la composición elemental de los materiales; éstas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del mismo. Entre las características químicas de los sustratos destacan:

- Capacidad de intercambio catiónico
- pH
- Capacidad tampón
- Contenido de nutrimentos
- Relación C/N

#### Características Biológicas

Se refiere a propiedades dadas por los materiales orgánicos, cuando éstos no son de síntesis son inestables termodinámicamente y, por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis, o bien, por la acción de microorganismos (Burés, 1999). Entre las características biológicas destacan:

- Contenido de materia orgánica
- Estado y velocidad de descomposición

Una vez conocidos los principales parámetros que definen un sustrato, probablemente proceda hacer referencia al "sustrato ideal". Ante la reiterada pregunta, de si existe un sustrato ideal, la respuesta es "no"; el sustrato adecuado para cada caso concreto dependerá de numerosos factores: tipo de planta que se produce, fase del proceso productivo en el que se interviene (semillado, estaquillado, crecimiento, etc.), condiciones climatológicas, y lo que es fundamental, el manejo de ese sustrato. Por lo tanto, la imposibilidad de referenciar un sustrato ideal, pero si

que puede hacerse referencia a los requerimientos que un sustrato debe tener, como son:

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible
- Elevada aireación
- Baja densidad aparente
- Elevada porosidad
- Baja salinidad
- Elevada capacidad tampón
- Baja velocidad de descomposición
- Estabilidad estructural
- Reproductividad y disponibilidad
- Bajo costo
- Fácil manejo (mezclado, desinfección, etc.)

### PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS

Las propiedades de tipo físico resultan de enorme importancia para el correcto desarrollo de la planta; cabe señalar, que una vez colocada ésta en el contenedor resulta prácticamente imposible modificar sus parámetros físicos iniciales. Algo contrario ocurre con las propiedades de tipo químico, que pueden resultar modificables mediante técnicas de cultivo adecuadas. Esto hace que deba de contemplarse con especial cautela todo lo referente a los parámetros físicos, en especial al binomio "retención de agua - aireación". Condición responsable del éxito o fracaso de la utilización de un determinado material como sustrato de cultivo.

Los principales parámetros que definen esas propiedades físicas son:

**Agua fácilmente disponible (AFD).** Se refiere a la cantidad de agua (% en vol.) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 10 y 50 cm de columna de agua. Valor óptimo: 20 a 30 %.

**Agua de reserva (AR).** En este caso se refiere a la cantidad de agua (% en vol.) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 50 y 100 cm de columna de agua. Valor óptimo: 4 a 10 %.

**Agua difícilmente disponible (ADD).** Se trata del agua (% en vol.) que queda retenida en el sustrato después de aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.

**Capacidad de aireación (CA).** Se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después que dicho sustrato ha sido llevado a saturación y dejado drenar (normalmente a 10 cm de columna de agua). El valor óptimo se produce cuando se dan valores entre 10 y 30 %.

**Espacio poroso total (EPT).** Es el volumen total del sustrato de cultivo que no está ocupado por partículas orgánicas o minerales. Es un dato que se determina a partir de las densidades real y aparente. Su valor óptimo se produce cuando alcanza niveles superiores a 85 %.

Todos estos parámetros se obtienen a partir de la curva de liberación de agua o curva característica de un sustrato desarrollada por De Boodt *et al.* (1974), cuya representación gráfica se detalla en la Figura 1.

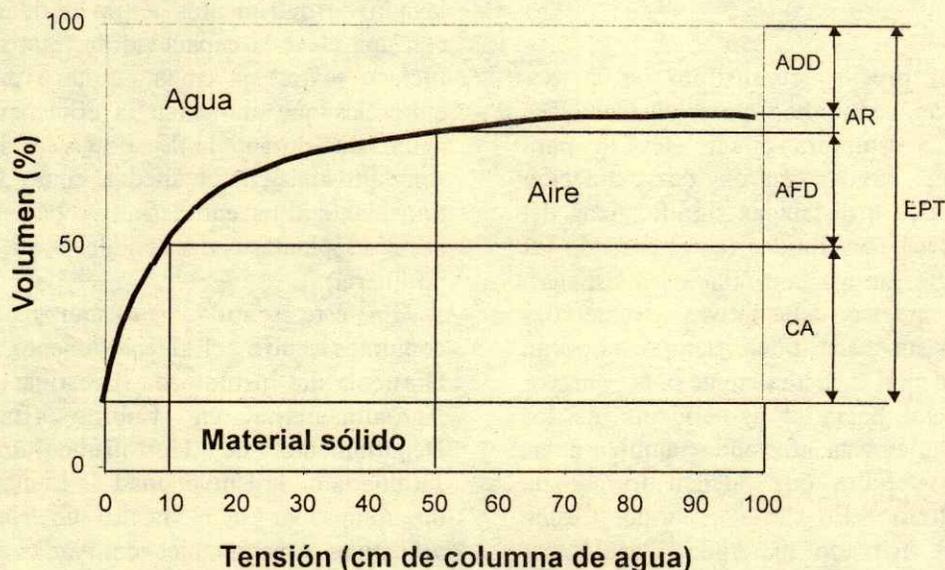


Figura 1. Curva de calibración de agua de un sustrato (De Boodt *et al.*, 1974).

## PROBLEMATICA DEL USO DE SUSTRATOS EN LA ACTIVIDAD VIVERISTICA

A nivel práctico existen varios aspectos que conviene tener en cuenta respecto de la utilización de este tipo de materiales, ya que pueden condicionar de manera decisiva el éxito o fracaso de su utilización. Estos aspectos son los siguientes:

### Manejo

La propia experiencia dentro de los viveros que utilizan los sustratos como medio de cultivo, demuestra que el propio manejo del sustrato es una de las claves del éxito en la explotación. Es el correcto manejo del sustrato, sobre todo respecto de la gestión del agua, la que abre la puerta de una producción adecuada. Un buen sustrato (desde el punto de vista físico y químico) puede comportarse de manera muy deficiente si no se maneja adecuadamente; mientras que un sustrato inadecuado (lógicamente mantendrá limitaciones respecto de sus propiedades físicas y químicas) puede obtener producciones elevadas si su manejo es el adecuado.

Esto obliga a que el viverista conozca minuciosamente las características del sustrato, si quiere optimizar su utilización; lógicamente, esto también exige a que se produzca un mantenimiento de las propiedades del sustrato que suministra el proveedor a través del tiempo.

### Precio

Obviamente, el precio del sustrato ha de ser accesible y lo más económico posible. Como es lógico, el precio acostumbra a ser elevado para aquellos materiales cuyos centros de extracción natural están ubicados a distancias significativas del lugar donde van a ser consumidos (es el caso de las turberas del norte de Europa con relación a España). Esto está abriendo nuevas expectativas a materiales autóctonos que hasta hace poco tiempo no eran considerados. Además, actualmente la mayor sensibilización social hacia el agotamiento de los recursos no renovables está afectando también a las mezclas de los materiales que pueden formar un determinado sustrato. En este sentido, están apareciendo en el mercado materiales "ecológicamente correctos", como los procedentes del reciclaje de subproductos que son a la vez biodegradables o reciclables (Burés, 1997). Los nuevos tiempos están

haciendo que todos estos materiales alternativos estén siendo cada vez más atractivos para poder ser incluidos en la dinámica productiva de las explotaciones, tanto solos (si sus características se lo permiten), como mezclándolos con materiales tradicionales. Es aquí donde la investigación juega un papel importante a la hora de estudiar y ensayar las mezclas adecuadas, establecer la necesidad de un proceso de compostaje, etc.

La utilización de este tipo de materiales ofrece dos ventajas fundamentales: la primera se refiere al precio, el cual trata de materiales autóctonos más baratos de obtener y a los que no se les carga el costo añadido del transporte desde varios miles de kilómetros. Mientras que la segunda ventaja integra y da una finalidad productiva a materiales secundarios de otros procesos productivos (incluso industriales) que de otra manera hubiesen acabado acumulándose en pilas gigantescas sin ninguna otra utilización. Por ello, la utilización de este tipo de materiales es marcadamente económica y así como de carácter ecológico.

Parece que de los sustratos se espera algo más de lo que tradicionalmente se esperaba; ya no sólo se busca que tenga un rendimiento elevado en la explotación agrícola, sino que además tenga un valor añadido; así en centros de investigación norteamericanos se trabaja en la utilización de cortezas de pino compostadas para la eliminación de algunas enfermedades fungosas como *Phytophthora cinnamomi* y *Rhizoctonia solani*; así como en el desarrollo de técnicas culturales que reduzcan el lavado de nutrientes a través de nuevos sustratos con una elevada capacidad de intercambio catiónico. Incluso se trabaja en la puesta a punto de técnicas culturales que aumenten la eficiencia en el uso del agua, tanto durante la fase de vivero de las plantas que son cultivadas en contenedor, como durante la fase de transplante al terreno definitivo de estas plantas (es el caso de plantas ornamentales con aplicación a la jardinería).

En este sentido, se están realizando trabajos conjuntos entre el Departamento de Tecnología Hortícola del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria en Cabrils (Barcelona) y el Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería de la Universidad de Lleida, con el objetivo de comprobar si el hecho de someter a plantas arbustivas ornamentales cultivadas en contenedor a diferentes condiciones de desarrollo en la fase de vivero (volúmenes de contenedor y características físicas del sustrato) provoca distintas respuestas en

cuanto al comportamiento de las plantas en el transplante a su lugar definitivo, especialmente por lo que se refiere a una mayor eficiencia en el uso del agua.

### Finalidad

Se conoce que las características de los sustratos han de ser diferentes en función de su finalidad; por ejemplo, si va destinado a unos semilleros se requiere un sustrato de fácil manejo, con el mínimo de perturbación para las raíces, de textura fina y elevada retención de agua para mantener una humedad constante, escasa capacidad de nutrición y baja salinidad. Características diferentes deberían de tener los sustratos destinados al enraizamiento de estaquillas o al crecimiento y desarrollo de las plantas. No obstante, se debe ir más allá, ya que se tiene constancia de que las características de los sustratos inducen características diferenciales de las plantas que crecen en ellos. En este sentido, se obtienen plantas cuyo destino sea transplantarlas a un terreno definitivo (como es el caso de plantas arbustivas ornamentales cultivadas en contenedor), que sean más competitivas respecto de los recursos hídricos que otras plantas cultivadas en otras condiciones.

Esto puede provocar que para las zonas con elevadas restricciones hídricas y con escasos aportes de lluvia sea un aspecto a considerar, ya que puede aumentar el índice de supervivencia de las plantas transplantadas al terreno definitivo.

### Reproductividad y Disponibilidad

No es éste un factor que a priori pueda resultar decisivo en la utilización de este tipo de materiales dentro de una explotación viverística; sin embargo, la

práctica indica que en determinadas circunstancias resultan decisivos en la elección y gestión del sustrato. En este sentido, el sustrato ha de estar disponible al viverista en cualquier época del año y, además, ha de mantenerse una homogeneidad en el material a lo largo del tiempo; esto es, que no se produzca una variación significativa de las características del sustrato, ya que esto obligaría al viverista a modificar su manejo cada vez que recibe una nueva partida de sustrato, lo que desde el punto de vista práctico resulta poco operativo.

### CONCLUSION

La selección de un sustrato en la explotación viverística es un trabajo conjunto entre investigadores y productores agrícolas. Sin embargo, llegar a este nivel del proceso productivo requiere de conocer aspectos físicos, químicos, biológicos, de manejo, precio, productividad y disponibilidad del sustrato o medio de cultivo.

### LITERATURA CITADA

- Abad, M. 1993. Sustratos. Características y propiedades. pp. 47-62. *In*: Cultivos sin suelo. F. Cánovas y J.R. Díaz. (ed.). Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.
- Abad, M. y P. Noguera. 1997. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 101-150. *In*: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (ed.). Universidad de Almería. Servicio de Publicaciones.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España.
- Burés, S. 1999. Introducción a los sustratos: aspectos generales. pp. 19-46. *In*: Tecnología de sustratos: aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. J.N. Pastor S. (ed.). Universidad de Lleida. España.
- De Boodt, M., O. Verdonck e I. Cappaert. 1974. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.

# REQUERIMIENTOS HIDRICOS DE CULTIVOS BAJO SISTEMAS DE FERTIRRIGACION

## Crops Water Requirements under Fertirrigation Systems

Leonardo Tijerina Chávez<sup>1</sup>

### RESUMEN

En la actualidad, la escasez del agua para uso agrícola obliga al hombre al empleo de sistemas de riego más eficientes, tal como lo representa el riego localizado. Para el diseño y la operación del mismo se necesita hacer la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se pretenden establecer. Para alcanzar este propósito es necesario proponer una metodología práctica y sencilla que permita indicar cuándo y cuánto regar, así como los requerimientos de fertilizante diario, para proporcionar a los cultivos estos insumos en la cantidad y oportunidad adecuada.

*Palabras clave:* Riego localizado, evapotranspiración, fertirriego.

### SUMMARY

At present, because of the scarcity of agricultural water, the use of more efficient irrigation systems is necessary, such as the drip irrigation system. To design and operate it, an estimate must be made of the water requirements of the crop that will be established on the field. To reach this purpose it is necessary to propose a practical and easy methodology that indicates when and how much must be irrigated, as well as the amount of the daily fertilizer to be supplied, in order to provide the crops with the adequate amount.

*Index words:* Drip irrigation system, evapotranspiration, fertigation.

### INTRODUCCION

En los últimos años, la escasez de agua ha obligado a reorientar la investigación hacia el uso de

sistemas de riego más eficientes que permiten ahorrar agua. Una de las etapas obligadas para el diseño, construcción o instalación y operación de cualquier sistema de riego es la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se pretenden establecer en alguna región. En México, el Gobierno está apoyando la tecnología del fertirriego a través de uno de los Programas de la Alianza para el Campo, la cual tiene como objetivos incrementar la productividad por m<sup>3</sup> de agua, hacer eficiente su uso, incrementar la producción de alimentos y mejorar la calidad de los productos. Este programa tiene como meta para el periodo de 1996 a 2000, incorporar al riego tecnificado un millón de hectáreas y contribuir a un ahorro de agua de alrededor de 6000 millones de metros cúbicos y 2.8 millones de Megawatts hora (Contijoch, 1998). Este mismo autor indica que para 1995 se tenían en el país 350 mil hectáreas con sistemas de riego tecnificado, de los cuales 33 % eran sistemas con tuberías de compuertas, 17.7 % con microaspersión, 15.1 % por aspersión, 10.7 % con cintilla de goteo, 6.1 % con goteo y 17.4 % con otros sistemas, llegando en 1997 a 604 mil hectáreas con riego tecnificado. Sin embargo, una vez que son instalados estos sistemas de riego, en general, excepto algunos casos, los productores requieren de capacitarse para la operación de estos sistemas para obtener buenos resultados en cuanto al ahorro de agua, lograr buena producción y mitigar el deterioro de sus suelos.

Por lo anterior, es notorio el impulso que se está dando a los sistemas de riego localizado en cualquiera de sus modalidades (microaspersión y goteo) y es muy importante la capacitación del productor. Una vez que éste decide qué sembrar, necesita saber cuándo, cuánto y cómo regar y fertilizar con estos sistemas.

Actualmente, la tecnología de fabricación de sistemas de riego localizado está en auge; existen empresas donde se pueden adquirir equipos de riego cuya operación es totalmente manual, hasta equipos completamente automatizados asistidos por computadora. Toda esta variedad de equipos dispone de dispositivos y servomecanismos para controlar la

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de Hidrociencias. Carretera México-Texcoco, Km 35.5, 56230 Montecillo, Méx.  
E-mail: [tijerina@colpos.colpos.mx](mailto:tijerina@colpos.colpos.mx)

Recibido: Febrero de 2000.

Aceptado: Junio de 2000.

aplicación y dosificación del agua y fertilizantes a los cultivos en las cantidades deseadas.

De acuerdo con los principios del diseño y operación de los sistemas de riego localizado, el suelo no se moja en su totalidad, el agua se aplica por un número variable de emisores, al ser menor el volumen de suelo mojado, el volumen radical se restringe, por lo que estos sistemas se operan con la frecuencia necesaria para mantener la humedad del suelo para cada cultivo en particular a un nivel adecuado.

Se suministran los fertilizantes a través del agua de riego, siguiendo tres criterios: 1) aplicar solución nutritiva en concentraciones variables dependiendo de las necesidades del cultivo, 2) aplicar los nutrimentos en forma fraccionada de acuerdo con las necesidades del cultivo según la etapa fenológica en que se encuentre, y 3) definir la dosis total de aplicación y dividirla de acuerdo con el número de aplicaciones.

Cualquiera de los tres criterios tiene como objetivo aplicar las dosis de nutrimentos mínimas necesarias para obtener los máximos rendimientos y evitar, en lo posible, el deterioro del suelo por el incremento de la salinidad y la lixiviación de nutrimento permisible.

La solubilidad de los nutrimentos en el ambiente edáfico y su disponibilidad para ser absorbidos por el sistema radical de los cultivos es tema de investigación; las interacciones iónicas con la matriz del suelo y entre ellos mismos son complejas y, debido a la variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, los resultados no son del todo extrapolables.

Por lo anterior, a continuación se presenta una metodología para la estimación del cálculo del requerimiento de riego, el cual puede tener dos objetivos: para el diseño del sistema de riego y para la determinación de la evapotranspiración en tiempo real en períodos de un día a una semana, dependiendo del manejo del riego que se le quiera dar al cultivo.

### ESTIMACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION CON FINES DE DISEÑO

En la literatura se hace énfasis en que cuando no se dispone de información experimental local, se parte de la determinación de la evapotranspiración del cultivo, la cual puede ser calculada por diferentes métodos empíricos y que su aplicación es función de la información climatológica disponible para la región bajo estudio; entre los métodos más difundidos a nivel

mundial son los publicados por Doorenbos y Pruitt (1977), en donde detallan los procedimientos para calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), que denota el valor de la evapotranspiración para diferentes condiciones climáticas. Los procedimientos a que se hace referencia tienen diferente grado de confiabilidad, así, por ejemplo, con los métodos de Blaney y Criddle y el de Radiación (modificación de la fórmula de Makkink) se obtienen resultados confiables para períodos de un mes, mientras que muchos investigadores han estimado la ET<sub>o</sub> para períodos de diez días y hasta de una semana. El método para estimar ET<sub>o</sub> a partir de la evaporación en el tanque tipo "A", ha tenido resultados satisfactorios, dado que la medida de la evaporación integra el efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad para un lugar específico. En condiciones operativas, los valores de la evaporación medidos en el tanque tipo "A" afectados por sus correspondientes factores de corrección, se han utilizado para calcular los volúmenes de agua de riego a reponer en lotes comerciales de diferentes cultivos bajo sistemas de fertirrigación. Finalmente, el documento citado proporciona el procedimiento de Penman modificado para cálculo de la ET<sub>o</sub> dando resultados razonables para un día.

A continuación se resumen algunas fórmulas para estimar la evapotranspiración de diseño.

**Cuadro 1. Ecuaciones de diseño para sistemas de riego localizado.**

Número	Ecuación	Autores
1	$ET_d = 0.6ET_c$	Goldberg, Gornat y Rimon (1976)
2	$ET_d = 0.7Ev$	Goldberg, Gornat y Rimon (1976)
3	$ET_d = 0.6F \cdot Ev$	Aljiburi, Marsh y Huntamer (1974)
4	$ET_d = K \cdot A \cdot Ev$	Shearer (López <i>et al.</i> , 1992)
5	$ET_d = ET_c (0.10 + A') \leq 1$	Decroix (López <i>et al.</i> , 1992)
6	$ET_d = F \cdot Ev$	Hoare <i>et al.</i> , (1974)
7	$ET_d = ET_c [A' + 0.15 (1-A')]$	Keller (1978)

Donde:

- ET<sub>d</sub> Evapotranspiración de diseño
- ET<sub>c</sub> Evapotranspiración del cultivo
- Ev Evaporación del tanque tipo "A"
- K Coeficiente de cultivo para riego por goteo
- A Area sombreada por el cultivo
- F  $0.8f_1' \cdot f_2$
- f<sub>1</sub>'  $Kc [A' + 0.5 (1-A')]$

Kc Coeficiente de cultivo en estado adulto  
 A<sup>7</sup> Fracción de la superficie sombreada  
 f<sub>2</sub> Factor del suelo

Algunos valores del Kc reportados por López *et al.* (1992) son: cítricos 0.7; plátano 0.8; vid 0.9; frutales 0.9; hortalizas 0.9; tabaco 1.0; tomate 1.0 y maíz 1.1.

En la Ecuación 3, F es un coeficiente de cobertura del cultivo, tomando valores de F = 0.13 para 10 %, 0.33 para 25 %, 1.0 para 75 % y 1.33 para 100 %, respectivamente.

Las Ecuaciones 6 y 7 del Cuadro 1 consideran el efecto de la microadvección y emisión de radiación desde las áreas secas.

Cuando la superficie sembrada es igual a 100 %, ETd es igual a ETc. Estas ecuaciones también son aplicables tanto para el cálculo de la evapotranspiración para el período de máxima demanda, como para las necesidades hídricas en diferentes etapas fenológicas.

Con propósitos de diseño, deberá considerarse la ETd máxima para el intervalo de riego más corto. Sin embargo, otros autores opinan que para ciertos cultivos en estados fenológicos específicos, moderados, déficits hídricos durante cortos intervalos de tiempo no afectan significativamente la producción, por lo que la ETd corresponde a la media máxima mensual, ya que sólo de 5 a 10 % de los días, la evapotranspiración máxima diaria puede alcanzar un valor de 50 a 100 % superior al valor promedio máximo mensual.

Doorenbos y Pruitt (1977) proponen estimar la ETe máxima media conociendo la lámina de agua disponible en el suelo y el tipo de clima, mientras que en el caso de riegos localizados se debe considerar un factor de ajuste de acuerdo con el área sombreada y no con la superficie mojada.

## NECESIDADES DE RIEGO

Las necesidades de riego se calculan en función de la ecuación de balance hídrico. Recordando que el cálculo de la evapotranspiración de cualquier cultivo (Etc) es de acuerdo con la fórmula:

$$R_n = E_{Tc} - (P_e + G + W)$$

Donde:

R<sub>n</sub> Requerimiento de riego neto

ETc Evapotranspiración del cultivo  
 Etc Kc \* Eto  
 Eto Evapotranspiración del cultivo de referencia  
 Pe Precipitación efectiva  
 G Aportaciones del manto freático  
 W Cambio del almacenamiento del agua en el suelo.

Para calcular el requerimiento total de riego (Rt) se deberá sumar al requerimiento neto las pérdidas por percolación (f<sub>2</sub>) y el requerimiento de lavado (RL), así como considerar el coeficiente de uniformidad de aplicación (CU).

Las pérdidas por percolación para la Ecuación 6 del Cuadro 1 [Hoare *et al.* (1984)] se consideran los factores propuestos por Jobling (1974) (Cuadro 2).

El cálculo de las necesidades totales se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$R_t = R_n / K * CU \rightarrow \text{si } K < (1-RL)$$

o

$$R_t = R_n / K(1-RL) \rightarrow \text{si } K > (1-RL)$$

o

$$R_t = R_n / E_a,$$

Donde:

K = Coeficiente de pérdidas por percolación, pudiéndose utilizar el inverso de los valores de f<sub>2</sub> de Jobling (1974) o los coeficientes de transpiración propuestos por Keller (1978) y listados en el Cuadro 3.

E<sub>a</sub> = Eficiencia de aplicación [E<sub>a</sub> = K\*CU si K < (1-RL) y E<sub>a</sub> = (1-RL)CU si K > (1-RL)].

Es importante indicar que actualmente el reto desde el punto de vista técnico es obtener eficiencias totales en sistemas de riego presurizados mayores que 85 %.

Keller (1978) define como relación de transpiración (Tr), al cociente que resulta de dividir el agua aplicada entre el agua transpirada, quedando implícitos en este factor las pérdidas por percolación; los valores Tr se presentan en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 2. Valores de pérdidas por percolación (f<sub>2</sub>).

Tipo de suelo	f <sub>2</sub>
Arena gruesa: horizonte superficial	
Ligero	1.15
Arenoso	1.10
Limoso	1.05
Franco-arcilloso	1.00

Jobling (1974).

**Cuadro 3. Relación de transpiración (Tr) para sistemas de riego tradicional.**

Profundidad de raíces	Textura del suelo			
	Muy porosa (grava)	Arenosa	Media	Fina
m				
< 0.75	1.10	1.10	1.05	1.00
0.75-1.50	1.10	1.05	1.00	1.00
> 1.50	1.05	1.00	1.00	1.00

Keller (1978).

**Cuadro 4. Relación de transpiración (Tr) para sistemas de riego por goteo.**

Zona climática	Profundidad de raíces	Textura del suelo			
		Muy arenoso	Arenoso	Media	Fina
	m				
Arida	<0.75	1.15	1.10	1.05	1.05
	0.75- 1.50	1.10	1.05	1.00	1.00
	>1.50	1.05	1.00	1.00	1.00
Húmeda	<0.75	1.35	1.25	1.15	1.10
	0.75-1.50	1.25	1.20	1.10	1.05
	>1.50	1.20	1.10	1.05	1.00

Keller (1978).

## COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO

De acuerdo con Salomon (1985), las causas que influyen en la uniformidad de la aplicación del agua a través de sistemas de riego presurizado son: las obturaciones, el número de emisores de los que recibe agua cada planta, el coeficiente de variación de fabricación de los emisores, de la sensibilidad del emisor a la temperatura, de las diferencias de presión que se producen en la red debidas a las pérdidas de carga y topografía del terreno, de los coeficientes de variación de fabricación de los reguladores de presión, de la relación entre la pérdida de carga que se produce en las líneas terciarias y el lateral, así como del número de diferentes diámetros que componen la línea terciaria.

Existen varias fórmulas de tipo estadístico que son utilizadas para el cálculo del coeficiente de uniformidad, como la propuesta por Christiansen y otros, reportados por López *et al.* (1992). A continuación se presentan algunas de ellas.

### Para Sistemas de Riego por Aspersión

$$CU_c = 100 [ 1 - S | X_i - X_m | / nX_m ]$$

Donde:

$CU_c$  = Coeficiente de uniformidad de Christiansen  
 $|x_i - x_m|$  Representan, en valor absoluto, las desviaciones con relación a la media  $X_m$  del agua captada por  $n$  pluviómetros.

En ocasiones el  $CU_c$  de Christiansen también se ha utilizado para evaluar la uniformidad de aplicación del riego en sistemas de riego por gravedad.

$$CU = (q_{25\%} / q_a) * 100$$

Donde:

$q_{25\%}$  = Media de 25 % de observaciones de valor más bajo

$q_a$  = La media de todos los valores

### Para Riego Localizado

$$CU = 100 [ 1 - (1.27 CV / e) ] q_n / q_a$$

Donde:

$CV$  = El coeficiente de variación de fabricación del emisor

$e$  = El número de emisores de los que recibe agua cada planta

$q_n$  = Gasto mínimo del emisor que corresponde a la presión mínima

$q_a$  = Gasto medio de todos los emisores considerados

Otras fórmulas consideran aspectos económicos relacionados con el costo de varios insumos como: el valor de la cosecha, el costo del agua, el costo de la energía eléctrica, el costo de la mano de obra, fertilizantes a aplicar con el riego y el costo de la instalación en función de la uniformidad de riego; sin embargo, en este artículo se presentan los valores de  $CU$  propuestos por la American Society Agricultural Engineers (1981) (ASAE) (Cuadro 5).

## REQUERIMIENTO DE LAVADO

El requerimiento de lavado (RL) es la cantidad mínima de agua de riego que debe ser drenada a través de la zona radical para controlar la salinidad del suelo a un nivel específico dado.

Para suelos de textura franco-arenoso a franco-arcilloso con buen drenaje y donde la lluvia es escasa, el requerimiento de lavado puede ser estimado por las siguientes fórmulas:

Cuadro 5. Valores del coeficiente de uniformidad (CU) recomendados por la ASAE EP405 (ASAE, 1981).

Tipo de emisor	Topografía del suelo	CU para zonas áridas %
Emisores espaciados a más de 4 m en cultivos perennes	Uniforme (<2 % pendiente)	90 a 95
	Terreno en pendiente (>2 %) u ondulado	85 a 90
Emisores espaciados a > de 4 m en cultivos perennes o semiperennes	Uniforme	85 a 90
	Terrenos en pendiente u ondulados	80 a 90
Tuberías emisoras en cultivos anuales hortícolas o de escarda	Uniforme	80 a 90
	Terrenos en pendiente u ondulados	70 a 85

Estos valores se disminuyen en 10 % en las zonas húmedas.

Para sistemas de riego superficial (gravedad y aspersión):

$$RL = CEa / (5CEe - CEa)$$

Para sistemas de riego por goteo y aspersión de alta frecuencia:

$$RL = CEa / 2CEe_{max}$$

Donde:

Cea = Conductividad eléctrica del agua de riego ( $dS m^{-1}$ )

Cee = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para un cultivo dado, en función del grado de tolerancia en la reducción de su rendimiento ( $dS m^{-1}$ ) [ver página 78 de Doorenbos y Pruitt (1977)].

$CEe_{max}$  = Conductividad eléctrica máxima tolerable del extracto de saturación del suelo para un cultivo dado ( $dS m^{-1}$ ) [ver página 78 de Doorenbos y Pruitt (1977)].

### CUÁNDO Y CUÁNTO REGAR

En los sistemas de riego localizado de alta frecuencia en donde prácticamente se riega diariamente, la estimación de la evapotranspiración puede hacerse con base en el valor de la evaporación medida en el tanque tipo "A".

Otro procedimiento consiste en determinar la disminución del contenido de humedad con sensores de humedad del suelo; por ejemplo, los electrotensiómetros, previamente calibrados *in situ*, se instalan estratégicamente en el campo y cuando la lectura llega a un valor predeterminado indican el

momento de riego. Estos sistemas de riego pueden ser asistidos por computadora y las señales enviadas por los electrotensiómetros son procesadas y permiten calcular el volumen de agua y el tiempo que tienen que permanecer abiertas las válvulas del sistema para aplicar dicho volumen.

La disponibilidad de estaciones meteorológicas automáticas, las cuales se localizan en las parcelas de interés, se programa para obtener la información correspondiente en intervalos de tiempo cortos. Esta información se procesa para estimar el valor de la evapotranspiración a nivel diario mediante la utilización de métodos micrometeorológicos, como por ejemplo: la ecuación de Penman-Monteith, balance de energía, entre otras. Las estaciones pueden estar intercomunicadas con una computadora en donde se instalan los programas de cómputo correspondientes para calcular la evapotranspiración y, posteriormente, de manera similar que en el caso anterior, el procesador de información u ordenador debe estar comunicado con los dispositivos de control del sistema de riego y aplicar el volumen deseado.

### CALCULO DE LA CANTIDAD DE FERTILIZANTE POR APLICAR EN CADA RIEGO

Conociendo la lámina de riego determinada por cualquiera de los procedimientos anteriormente mencionados, las fórmulas que se utilizan para calcular la cantidad de fertilizante se presentan a continuación:

$$R_t = R_n / E_a$$

Donde:

$R_t$  = Requerimiento total (m)

$R_n$  = Requerimiento neto (m)

$E_a$  = Eficiencia de aplicación

$$V_a = R_t * S * s$$

Donde:

$V_a$  = Volumen de agua por aplicar ( $m^3$ )

$S$  = Superficie ( $m^2$ )

$s$  = Factor de sombreado < 1 (adimensional)

### Fertilizantes Sólidos

$$F_s = V_a * c * F_c / P_n$$

Donde:

$c$  = Concentración en la solución del nutriente por aplicar ( $mg L^{-1}$ )

$F_c$  = Factor de conversión (Junta de Extremadura, España):

$N_{total}$  a  $N_{amoniacal-nitrico-ureico}$  = 1.00

$P$  a  $P_2O_5$  = 2.29

$K$  a  $K_2O$  = 1.20

$P_n$  = Porcentaje de nutriente presente en el fertilizante

### Fertilizantes Líquidos

$$F_l = V_a * c * F_c / P_n * D_l$$

Donde:

$D_l$  = Densidad del fertilizante líquido ( $g cm^{-3}$ )

**Cuadro 6. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de durazno con base en la información agrometeorológica de Montecillo, estado de México.**

Mes	T media °C	Ev mm	HR media %	Prec mm	Prec cm	Rad media Ly d <sup>-1</sup>	Rad mm	VV 24 h m s <sup>-1</sup>	VV diurna m s <sup>-1</sup>	N h
Ene	10.6	132.7	58.4	2.7	0.27	411.4	7.0	1.8	2.4	9.1
Feb	12.6	154.4	59.3	10.4	1.04	451.7	7.7	2.0	2.7	8.4
Mar	14.2	192.2	57.3	24.8	2.48	472.2	8.0	2.2	2.9	8.3
Abr	16.2	200.7	57.7	22.9	2.29	498.9	8.5	2.1	2.8	8.8
May	17.4	183.5	58.4	36.1	3.61	502.8	8.5	1.6	2.1	8.4
Jun	17.3	140.7	66.5	94.4	9.44	452.8	7.7	1.5	2.0	6.1
Jul	16.5	118.2	68.3	107.5	10.75	453.7	7.7	1.2	1.6	6.4
Ago	16.6	123.4	67.8	64.7	6.47	460.1	7.8	1.2	1.6	6.3
Sep	15.9	117.0	67.0	71.5	7.15	457.7	7.8	1.4	1.9	7.0
Oct	14.5	121.9	63.3	18.1	1.81	461.4	7.8	1.4	1.9	7.8
Nov	13.1	120.4	60.7	2.5	0.25	444.5	7.5	1.5	2.0	8.7
Dic	11.8	115.3	61.5	0.5	0.05	405.6	6.9	1.6	2.1	8.3

Mes	W graf. <sup>†</sup>	RadW	ET <sub>o</sub> mm d <sup>-1</sup>	ET <sub>o</sub> cm m <sup>-1</sup>	Kc	ET <sub>c</sub> cm	Pcm	Pe cm	ET <sub>c</sub> -Pe cm	ET <sub>c</sub> Acum cm
Ene	0.61	4.25	3.75	11.63			6.3	0.00		
Feb	0.65	4.98	4.35	12.18			7.0	0.00		
Mar	0.66	5.28	4.75	14.73	0.85	12.5	8.3	0.00	12.5	12.5
Abr	0.69	5.83	5.20	15.60	0.95	14.8	8.5	0.00	14.8	27.3
May	0.70	5.97	5.35	16.59	1.05	17.4	8.0	0.00	17.4	44.7
Jun	0.70	5.37	4.76	14.28	1.15	16.4	6.5	5.23	11.2	55.9
Jul	0.69	5.31	4.25	13.18	1.15	15.2	5.7	4.59	10.6	66.5
Ago	0.69	5.38	4.35	13.49	1.15	15.5	5.9	4.74	10.8	77.3
Sep	0.69	5.35	4.30	12.90	1.10	14.2	5.7	4.55	9.6	86.9
Oct	0.67	5.24	4.17	12.93	0.97	11.6	5.9	0.00	11.6	98.5
Nov	0.65	4.90	4.34	13.02	0.87	11.1	5.8	0.00	11.1	109.6
Dic	0.64	4.40	3.80	11.78			5.6	0.00		
						128.7			109.6	

Rad = Radiación solar global promedio diaria para cada mes. VV = Velocidad del viento. N = Horas brillo solar promedio diario.

ET<sub>c</sub> = Evapotranspiración del cultivo descontando la precipitación efectiva.

<sup>†</sup> Doorenbos y Pruitt (1977).

**EJEMPLO**

Calcular la evapotranspiración del cultivo de durazno para el área de influencia de la estación agrometeorológica de Montecillo, estado de México.

Los datos climatológicos corresponden al promedio de 10 años de observaciones, los cuales se resumen en el Cuadro 6. La estación climatológica está localizada a una latitud de 19° 29'; longitud 98° 54' oeste y 2240 m sobre el nivel del mar.

**Características del Cultivo:**

Cultivo	Durazno
Inicio de brotación	marzo
Separación entre hileras	4 m
Separación entre árboles	2 m
Diámetro del área sombreada	3.25 m
Porcentaje de la superficie sombreada	51.8 %
Densidad de población	625 árboles ha <sup>-1</sup>
Duración del periodo vegetativo	270 d (marzo-noviembre)
Periodo invernal	90 d (diciembre-febrero)

**Características del Suelo:**

Textura	Franco-arcillo-arenosa
Densidad aparente	1.37 g cm <sup>-3</sup>
Contenido de humedad a 0.3 atm de tensión	34.2 %
Contenido de humedad a 15 atm de tensión	17.7 %
Humedad aprovechable a 100 cm de profundidad	22.5 cm
Capacidad de almacenamiento	225 mm m <sup>-1</sup>
Infiltración básica	5 mm h <sup>-1</sup>
Profundidad radical	1 m
Conductividad eléctrica del extracto de saturación	2.5 dS m <sup>-1</sup> a 25 °C.

**Características del Agua de Riego:**

Fuente de abastecimiento	Agua de pozo
Conductividad eléctrica	1.7 dS m <sup>-1</sup> a 25 °C

**Cálculo de ETc**

En el Cuadro 6 se detalla el procedimiento del cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto), utilizando el método de radiación propuesto por Doorenbos y Pruitt (1977).

La ecuación es la siguiente:

$$Eto = c * W (Rs)$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día<sup>-1</sup>) para el periodo considerado (un mes)

c = Factor de ajuste que depende de la humedad relativa media y de la velocidad del viento diurna

W = Factor de ponderación que depende de la temperatura y la altitud

Rs = Radiación solar en evaporación equivalente (mm día<sup>-1</sup>)

**Cálculo de la Precipitación Efectiva**

**Método de Prescott y Anderson.** Este método considera para el cálculo de la lluvia efectiva la precipitación media calculada en función de la evaporación media mensual y se compara con la precipitación media mensual, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Pcm = 0.9 * Ev^{0.75}$$

Donde:

Pcm = Precipitación media calculada

Ev = Evaporación mensual media, medida en el tanque tipo "A"

Para calcular la precipitación efectiva (Pe), se utiliza el siguiente criterio:

Si  $Pcm > Pm$  entonces  $Pe = 0$

Si  $Pcm < Pm$  entonces  $Pe = 0.8 Pcm$

Donde:

Pm = Precipitación media mensual

**Balance Hídrico**

Si se asume que no hay aportaciones significativas del manto friático y que el día anterior se regó para elevar su contenido de humedad a capacidad de campo, a continuación se hace el balance de agua y se calcula la evapotranspiración acumulada para cada cultivo a nivel mensual (Figura 1).

**Cálculo de la Etd para el sistema de riego localizado.** Observando los valores a nivel mensual para el cultivo de durazno, el mes de mayo es el de mayor demanda, y suponiendo que el cultivo se va a regar diariamente, la evapotranspiración media mensual para dicho mes es de 17.4 cm que equivalen

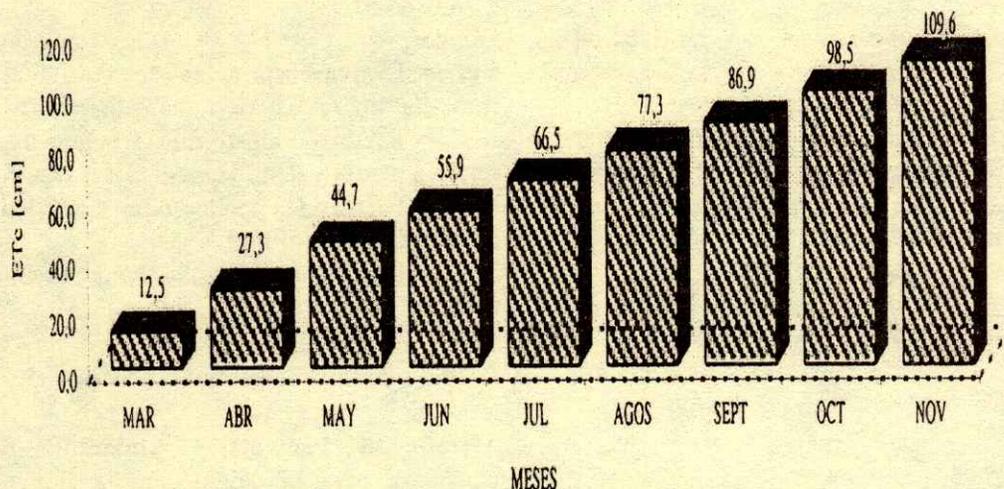


Figura 1. Evapotranspiración acumulada en durazno.

a un promedio de  $5.6 \text{ mm d}^{-1}$ ; entonces aplicando el criterio de Keller y Kameli (1974).

$$ETd = ETc [A' + 0.15(1 - A')]$$

Suponiendo que el área sombreado del cultivo es  $5182.22 \text{ m}^2$  en una hectárea y que la fracción de área sombreado es  $A' = 0.518$ , la evapotranspiración diseño será igual a:

$$Etd = 5.6[0.518 + 0.15(1 - 0.518)] = 3.305 \text{ mm}$$

(equivalente a  $33.05 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )

**Cálculo del requerimiento neto.** Suponiendo que la Etc en el cultivo de durazno para el 11 de julio calculada mediante el método de balance de energía (Tijerina y Quevedo, 1997) fue de  $4.99 \text{ mm}$  y que se está regando diariamente, considerando un factor de sombreado de  $0.518$ :

$$Rn = 0.00499 * 10000 * 0.518 = 25.85 \text{ m}^3$$

### Requerimiento Total de Riego

De acuerdo con el Cuadro 5 se elige un CU igual a  $0.85$ , por ser la época húmeda del año y el terreno plano.

**Cálculo del requerimiento de lavado.** La conductividad eléctrica del agua de riego es  $1.7 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y la conductividad eléctrica máxima tolerable por el cultivo ( $CE_{e_{\max}}$ ), de acuerdo con la tabla 36 en

la página 78 de Doorenbos y Pruitt (1977) es igual a  $7 \text{ dS m}^{-1}$ .

$$RL = CEa / 2CE_{e_{\max}}$$

$$RL = 1.7 / 2 * 7 = 0.12$$

**Cálculo de las pérdidas por percolación.** Si se asume que se tiene un coeficiente de transpiración ( $Tr$ ) igual a  $1.05$  (Keller, 1978), por lo tanto, el coeficiente de percolación ( $K$ ) es igual a  $1/1.05 = 0.952$ .

**Cálculo de la eficiencia de aplicación.**

$$Ea = (1 - RL)CU$$

$$Ea = (1 - 0.12) * 0.85 = 0.748$$

Por lo tanto, el requerimiento total de riego ( $Rt$ ) será:

$$Rt = Rn / Ea$$

$$Rt = 25.85 / 0.748 = 34.56 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

### CONCLUSION

En relación con el ejercicio antes citado, se determinó que la  $ETd$  es menor que el requerimiento total para ese día, por lo que se tendrá que incrementar el tiempo de riego, o bien, modificar el gasto, logrando esto último con un incremento en el número de emisores.

## LITERATURA CITADA

- American Society Agricultural Engineers. 1981. Designs installation and performance of trickle irrigation systems ASAE. pp. 511-513. *In: Year book. Engineering Practice ASAE.AP405-Agricultural Engineers. USA.*
- Contijoch. 1998. Resultados del programa de ferti-irrigación y perspectivas a corto plazo. pp. 203-216. *In: Memorias del III Simposium Internacional sobre Ferti-irrigación. León, Guanajuato, México.*
- Cháides B., R. 1997. Fertigación nitrogenada del cultivo de coliflor (*Brassica oleraceae* Var. *Botrytis* L.) mediante riego por goteo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.
- Doorenbos, S. y W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. Irrigation and drainage. Paper No. 24. FAO. Roma, Italia.
- Hoare, E.R., K.V. Garzoli y J. Blackwell. 1984. Plant water requirements as related to trickle irrigation. pp. 323- 328. *In: I Proc. and II Internat. Drip Irrigation Congress. California, USA.*
- Jobling, G.A. 1974. Trickle irrigation design manual. Part 2. Miscellaneous publication No. 7. Agricultural Engineering Institute, USA.
- Keller, J. 1978. Trickle irrigation. Section 15-7. National Engineering Handbook. Soil Conservation Service. USDA. USA.
- Keller, J. y D. Kameli. 1974. Trickle irrigation design Rain Bird. Glendora, California, USA.
- López J., R., J.M. Hernández, A. Pérez R. y J.F. González H. 1992. Diseño y manejo de un sistema de riego localizado. pp. 149-158. *In: Mundi Prensa (ed.). Riego localizado. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España.*
- Rosenberg, N.J. 1972. Microclimate. Tech. Biological Environment. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Salomon, K.H. 1985. Global uniformity of trickle irrigation system. ASAE. Transact. Vol. 28-4. USA. 1.151-1.158.
- Tijerina Ch., L. y A. Quevedo N. 1997. Estimación de la evapotranspiración por métodos micrometeorológicos. Memorias del VII Congreso Nacional de Irrigación. ANEI (ed.). Hermosillo, Sonora, México.

# FERTILIZACION FOLIAR, UN RESPALDO IMPORTANTE EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

## Foliar Fertilization, an Important Enhancing for the Crop Yield

Antonio Trinidad Santos<sup>1</sup> y Diana Aguilar Manjarrez

### RESUMEN

La fertilización foliar, que es la nutrición a través de las hojas, se utiliza como un complemento a la fertilización al suelo; esta práctica es reportada en la literatura en 1844, aunque su uso se inicia desde la época Babilónica. Bajo este sistema de nutrición la hoja juega un papel importante en el aprovechamiento de los nutrimentos, algunos componentes de ésta participan en la absorción de los iones. Los factores que influyen en la fertilización foliar pueden clasificarse en tres grupos; aquellos que corresponden a la planta, el ambiente y la formulación foliar. Dentro de los aspectos de la planta, se analiza la función de la cutícula, los estomas y ectodesmos en la absorción foliar. En el ambiente, la temperatura, luz, humedad relativa y hora de aplicación. En la formulación foliar se analiza el pH de la solución, surfactantes y adherentes, presencia de sustancias activadoras, concentración de la solución, nutrimentos y el ion acompañante en la aspersión. Varios trabajos de fertilización foliar han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos, sin embargo, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables, lo que sugiere se hagan más trabajos en busca de optimizar la capacidad productiva de las cosechas de diferentes cultivos, utilizando la fertilización foliar como un apoyo a la fertilización al suelo.

*Palabras clave:* Absorción foliar, nutrimento, cutícula.

### SUMMARY

The foliar fertilization is the nutrition through the leaves; it is used as a complement to the soil fertilization; this practice was reported in 1844, although its use begins at the Babylonian time.

<sup>1</sup> Area de Fertilidad de Suelos, IRENAT, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Recibido: Febrero de 2000.  
Aceptado: Junio de 2000.

In this system of nutrition, the leaf plays an important role in the uptake of the nutrients, some of its components participate in the ion absorption. The factors that influence the foliar fertilization can be classified in three groups; those correspondent to the plant, the atmosphere and the foliar formulation. Within the aspects of the plant are reviewed the cuticle function, stomata and ectodesmata in the foliar absorption; and in the atmosphere, the temperature, light, relative humidity and time of application. In the foliar formulation are analyzed pH, surfactants and adherents, active substances, concentration, nutrients and compatibility. Several researchers on foliar fertilization demonstrated the goodness on the yield of the crops. Nevertheless, the increases of yield by the use of this practice have been variable, which suggests more research must be done to optimize the productive capacity of the harvest of different crops, using foliar fertilization as a support to soil fertilization.

*Index words:* Foliar absorption, nutrient, cuticle.

### ANTECEDENTES

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto. La fertilización foliar no substituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero sí es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo. El abastecimiento nutrimental vía fertilización edáfica depende de muchos factores tanto del suelo como del medio que rodea al cultivo. De aquí, que la fertilización foliar para ciertos nutrimentos y cultivos, bajo ciertas etapas del desarrollo de la planta y del medio, sea ventajosa y a veces más eficiente en la corrección de deficiencias que la fertilización edáfica.

La fertilización foliar se ha practicado desde hace muchos años. En 1844 se reporta que en Francia se

aplicaba sulfato ferroso en el follaje de la vid para corregir la clorosis en las plantas. También se tenían noticias de que en muchas partes del sur de Europa la fertilización foliar era conocida por los agricultores, quienes la practicaban ampliamente. Esta práctica posteriormente se hizo intensiva en otras partes del mundo, en donde los agricultores habían visto efectos benéficos en el incremento de rendimiento y calidad del producto. Además ya se había observado que en algunos lugares los fertilizantes químicos aplicados al suelo no actuaban eficiente y satisfactoriamente (Eibner, 1986).

A partir de 1950, cuando se empezaron a utilizar radioisótopos en la agricultura, mejores técnicas de laboratorio y aparatos para el rastreo y análisis de nutrimentos del tejido vegetal, se lograron avances más claros sobre la efectividad de la fertilización foliar (Pérez, 1988). En las últimas décadas varios trabajos de investigación han demostrado la bondad de esta práctica cuyo uso es común hoy en día (Trinidad *et al.*, 1971; Chonay, 1981; Cardona, 1988; Pérez, 1988).

Actualmente se sabe que la fertilización foliar puede contribuir en la calidad y en el incremento de los rendimientos de las cosechas, y que muchos problemas de fertilización al suelo se pueden resolver fácilmente mediante la fertilización foliar (Fregoni, 1986). Se reconoce, que la absorción de los nutrimentos a través de las hojas no es la forma normal.

La hoja tiene una función específica de ser la fábrica de los carbohidratos, pero por sus características anatómicas presenta condiciones ventajosas para una incorporación inmediata de los nutrimentos a los fotosintatos y la translocación de éstos a los lugares de la planta de mayor demanda.

El abastecimiento de los nutrimentos a través del suelo está afectado por muchos factores de diferentes tipos: origen del suelo, características físicas, químicas y biológicas, humedad, plagas y enfermedades (Bear, 1965; Plancarte, 1971; Trinidad *et al.*, 1971). Por consiguiente, habrá casos en que la fertilización foliar sea más ventajosa y eficiente para ciertos elementos, que la fertilización al suelo, y casos en que simple y sencillamente no sea recomendable el uso de la fertilización foliar.

La hoja es el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrimentos aplicados por aspersión (Tisdale *et al.*, 1985); sin embargo, parece ser, que un nutrimento también puede penetrar

a través del tallo, si éste no presenta una suberización o lignificación muy fuerte: tal es el caso de las ramas jóvenes o el tallo de las plantas en las primeras etapas de desarrollo.

La hoja es un tejido laminar formada en su mayor parte por células activas (parénquima y epidermis) con excepción del tejido vascular (vasos del xilema que irrigan la hoja de savia bruta) y la cutícula que es un tejido suberizado o ceroso que protege a la epidermis del medio (Bidwell, 1979).

Desde el punto de vista de su estructura, las partes más importantes de una hoja del haz al envés son: La cutícula, epidermis superior, parénquima de empalizada, parénquima esponjoso, tejido vascular (integrado por células perimetrales, xilema, floema y fibras esclerenquimatosas), epidermis inferior y cutícula inferior. En el envés, en muchos casos existe una capa espesa de vellos, que dificulta el acceso de soluciones nutritivas, hasta la epidermis como ocurre en la hoja de aguacate.

Fisiológicamente la hoja es la principal fábrica de fotosintatos. De aquí la gran importancia de poner al alcance de la fábrica los nutrimentos necesarios que se incorporan de inmediato a los metabolitos, al ser aplicados por aspersión en el follaje. Pero la fertilización foliar no puede cubrir aquellos nutrimentos que se requieren en cantidades elevadas. La fertilización foliar, entonces, debe utilizarse como una práctica especial para complementar requerimientos nutrimentales o corregir deficiencias de aquellos nutrimentos que no existen o no se pueden aprovechar eficientemente mediante la fertilización al suelo.

### MECANISMOS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS

Desde 1877 se demostró que las sales y otras sustancias pueden ser absorbidas a través de las hojas (Franke, 1986). Johnson (1916) asperjando sus piñas con una solución de sulfato de hierro, logró enverdecer las plantas después de algunas semanas. Esta experiencia tuvo repercusiones con los productores y se empezaron a utilizar sin medida, prácticas de aspersión foliar de algunos micronutrimentos. A pesar de ser una práctica común entre agricultores, todavía a finales de la década de los 40's, no se sabía el mecanismo de absorción foliar de nutrimentos. Aún hoy en día, la expresión "Fertilización Foliar" pocas veces se menciona en los

textos clásicos, y el mecanismo de absorción por este medio no está descrito de manera formal a pesar de que es una práctica importante en la actualidad.

Las hojas no son órganos especializados para la absorción de los nutrientes como lo son las raíces; sin embargo, los estudios han demostrado que los nutrientes en solución sí son absorbidos aunque no en toda la superficie de la cutícula foliar, pero sí, en áreas puntiformes las cuales coinciden con la posición de los ectotesmos que se proyectan radialmente en la pared celular. Estas áreas puntiformes sirven para excretar soluciones acuosas de la hoja, como ha sido demostrado en varios estudios. Por lo tanto, también son apropiados para el proceso inverso, esto es, penetración de soluciones acuosas con nutrientes hacia la hoja (Franke, 1986).

El proceso de absorción de nutrientes comienza con la aspersión de gotas muy finas sobre la superficie de la hoja de una solución acuosa que lleva un nutriente o nutrientes en cantidades convenientes. La hoja está cubierta por una capa de cutina que forma una película discontinua llamada cutícula, aparentemente impermeable y repelente al agua por su naturaleza lipofílica (Figura 1). La pared externa de las células epidermales, debajo de la cutícula, consiste de una mezcla de pectina, hemicelulosa y cera, y tiene una estructura formada por fibras entrelazadas. Dependiendo de la textura de éstas es el tamaño de espacios que quedan entre ellas, llamados espacios interfibrilares ( $100 \text{ \AA}^{\circ}$ ), caracterizados por ser permeables al agua y a sustancias disueltas en ella. Después de esta capa se tiene al plasmalema o membrana plasmática, que es el límite más externo del citoplasma (García y Peña, 1995). El plasmalema consiste de una película bimolecular de lípidos y está parcial o totalmente cubierto de una capa de proteína. Las moléculas de lípidos, parcialmente fosfolípidos, tienen un polo lipofílico y un polo hidrofílico; se supone que a través de estos lípidos hidrofílicos penetran los nutrientes. Estos lípidos se pueden prolongar radialmente hacia la pared epidermal, y se conocen como ectodesmos o cordones lípidos que facilitan en gran medida la penetración de los nutrientes. Tal parece que en una primera instancia, al ser aplicado el nutriente por aspersión, éste se difunde por los espacios interfibrilares en la pared de las células epidermales (difusión), o bien, vía intercambio iónico a través de ectodesmos (ectoteichodes), hasta llegar al plasmalema, lugar donde se lleva a cabo prácticamente una absorción activa como en el caso de la absorción de nutrientes

por las raíces. En esta absorción activa participan los transportadores, que al incorporar el nutriente al citoplasma de la célula, forman metabolitos que son posteriormente translocados a los sitios de mayor demanda para el crecimiento y rendimiento de la planta. Por lo tanto, la absorción foliar de nutrientes se lleva a cabo por las células epidérmicas de la hoja y no exclusivamente a través de los estomas como se creyó inicialmente.

De aquí la importancia de hidratar la cutícula de la hoja con surfactantes para facilitar la penetración del nutriente. Este proceso, descrito brevemente, ha sido cotejado actualmente mediante el uso de algunos trazadores isotópicos (Franke, 1986).

### FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

Para el buen éxito de la fertilización foliar es necesario tomar en cuenta tres factores, los de la planta, ambiente y formulación foliar. En relación a la formulación foliar, la concentración de la sal portadora del nutriente, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes y el tamaño de la gota del fertilizante líquido, del nutriente por asperjar se cita su valencia y el ion acompañante, la velocidad de penetración y la translocabilidad del nutriente dentro de la planta. Del ambiente se debe de considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, humedad relativa y la hora de aplicación. De la planta se ha de tomar en cuenta la especie del cultivo, estado nutricional, etapa de desarrollo de la planta y edad de las hojas. (Kovacs, 1986). A continuación se desglosa la importancia de algunos de ellos.

#### Relacionados con la Formulación Foliar

**pH de la solución.** La característica de la solución por asperjar es de primordial importancia en una práctica de fertilización foliar. El pH de la solución y el ion acompañante del nutriente por aplicar influyen en la absorción de éste en la hoja. El Cuadro 1 muestra estos efectos.

En el Cuadro 1 se observa que soluciones de pH ácido favorecen la absorción de fósforo y esta absorción es mayor con el ion acompañante  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  que con el  $\text{K}^+$  (Reed y Tukey, 1978).

**Surfactantes y adherentes.** La adición de surfactantes y adherentes a la solución favorece el aprovechamiento del fertilizante foliar. El mecanismo de acción de un surfactante consiste en reducir la

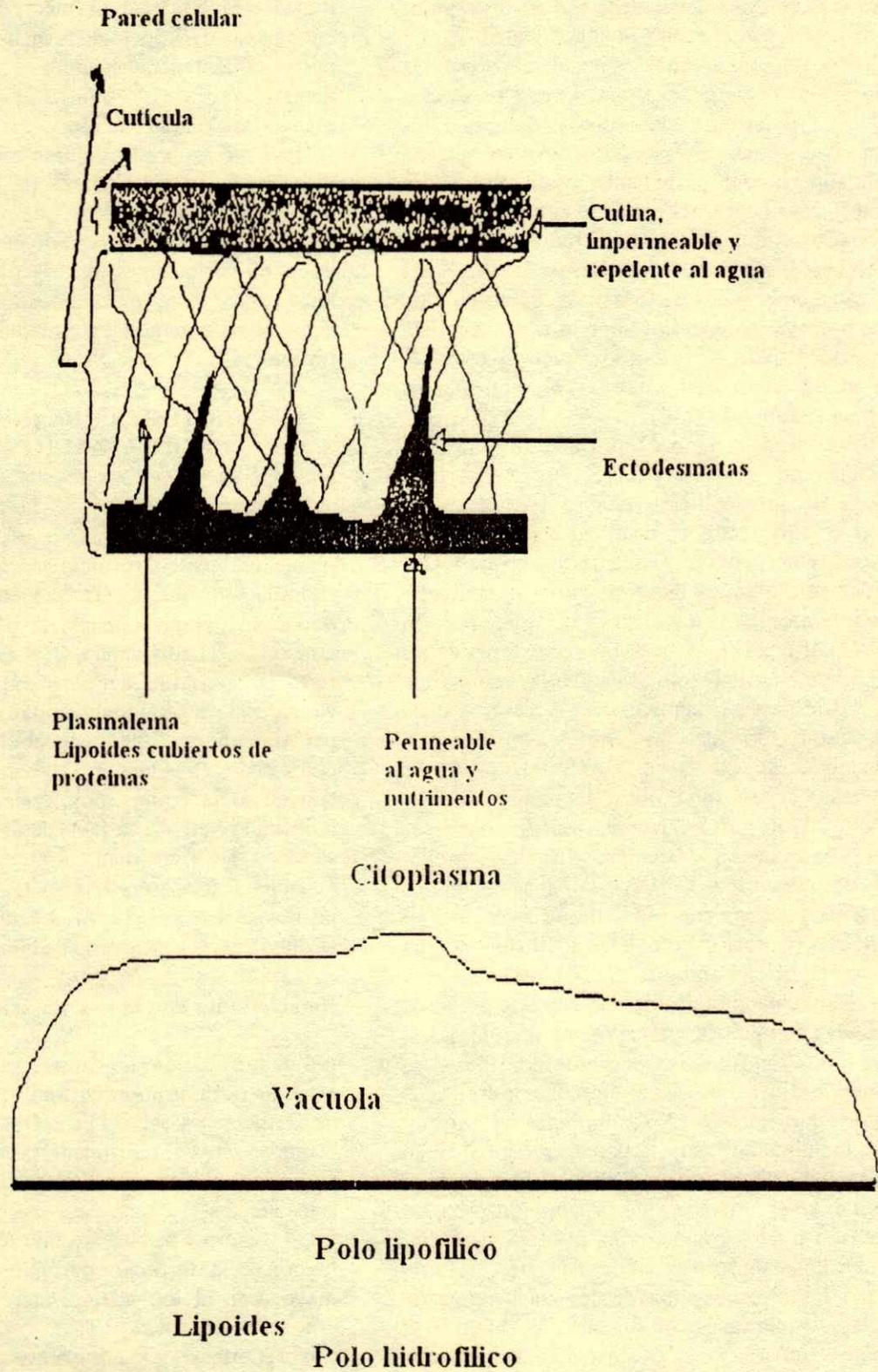


Figura 1. Corte transversal de una célula de la epidermis.

**Cuadro 1. Efecto del pH y el catión acompañante del elemento por asperjar sobre la cantidad de P absorbido en microgramos (µg), seis horas después de la aplicación.**

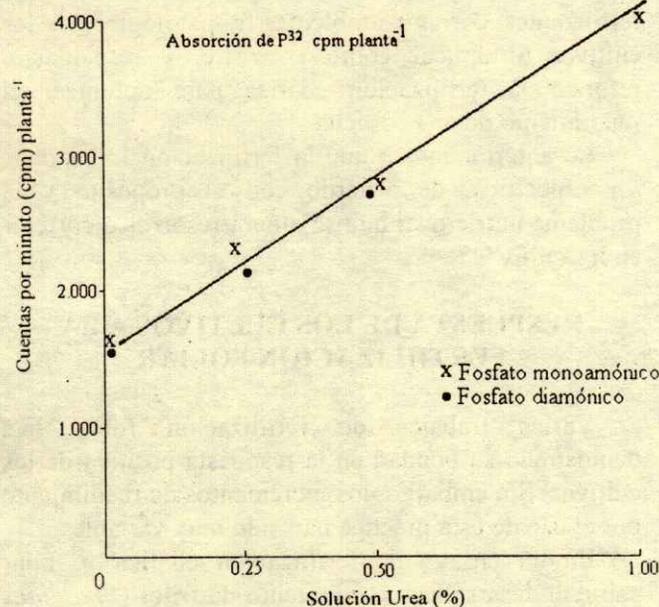
Ion acompañante	pH					
	2	3	4	5	6	7
	P (µg)					
K <sup>+</sup>	1.47	0.96	0.16	0.11	0.11	0.08
Na <sup>+</sup>	2.03	2.97	1.31	1.59	1.21	0.75
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.70	3.94	2.59	2.44	0.33	0.26

Fuente: Reed y Tukey (1978).

tensión superficial de las moléculas de agua, permitiendo una mayor superficie de contacto con la hoja; un adherente permite una mejor distribución del nutrimento en la superficie de la hoja evitando concentraciones de este elemento en puntos aislados cuando la gota de agua se evapora (Leece, 1976).

**Presencia de sustancias activadoras.** Actualmente se están haciendo estudios sobre el uso de sustancias activadoras en la absorción de nutrimentos por aspersión foliar. Los ácidos húmicos actúan como activadores y la urea también desempeña la misma función en la absorción de fósforo como se muestra en la Figura 2. Parece que la urea dilata la cutícula y destruye las ceras sobre la superficie de la hoja, facilitando la penetración del nutrimento (Malavolta, 1986).

**Nutrimento y el ion acompañante en la aspersión.** La absorción de nutrimentos está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico en la hoja, y la



**Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de urea sobre la absorción de P marcado por las hojas de frijol (Malavolta, 1986).**

**Cuadro 2. Movilidad comparativa de diferentes nutrimentos en la planta.**

Muy móvil	Móvil	Parcialmente móvil	Inmóvil
N	P	Zn	B
K	Cl	Cu	
Na	S	Mn	Ca
Rb		Fe	Sr
		Mo	Ba

Fuente: Fregoni (1986).

valencia del ion influye en este intercambio. Los iones K<sup>+</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> requieren sólo de un H<sup>+</sup> en el intercambio, mientras que el Ca<sup>2+</sup> y el Mg<sup>2+</sup> requieren de dos H<sup>+</sup>; por lo tanto, los iones monovalentes penetran con mayor facilidad que los iones con mayor número de valencias. Los iones más pequeños en su diámetro penetran más rápidamente que los iones de mayor tamaño (Fregoni, 1986). En el caso del fósforo, el amonio lo estimula en su absorción más que el Na<sup>+</sup> o K<sup>+</sup>. Los Cuadros 2 y 3 indican la movilidad y la velocidad de absorción de los nutrimentos, que podrían dar una idea de la facilidad con que penetran esos elementos en la hoja.

**Concentración de la solución.** La concentración de la sal portadora de un nutrimento en la solución foliar, varía de acuerdo con la especie de la planta. En general, los cereales soportan mayores concentraciones que algunas otras especies como el frijol, pepino, tomate y otras hojas menos cutinizadas, pero posiblemente sean las más eficientes en absorción foliar. La concentración de la urea que debe utilizarse de una especie a otra varía mucho, como se muestra en el Cuadro 4.

**Cuadro 3. Velocidad de absorción de diferentes nutrimentos en la hoja de frijol.**

Elemento	Absorbidos después de				
	6 h	24 h	48 h	96 h	192 h
	%				
R	55	80	90	95	98
K	50	70	80	90	95
Na	48	65	70	80	90
Cl	31	40	50	60	80
Zn	30	50	60	65	70
Ca	7	28	35	50	70
S	7	22	30	45	60
P	5	15	25	35	50
Mn	11	20	22	30	40
Ba	6	21	30	40	65
Sr	2	10	18	30	34
Fe	3	6	8	12	15

Fuente: Fregoni (1986).

**Cuadro 4. Concentración de la urea en la solución foliar aplicada a diferentes plantas de cultivo.**

Planta	Concen- tración %	Planta	Concen- tración %
Manzano	0.6 - 1.0	Papa	0.6 - 1.6
Cerezo	0.6 - 1.0	Remolacha	1.5 - 2.0
Ciruelo	0.6 - 1.0	Maiz	0.5 - 2.5
Durazno	0.6 - 1.0	Cereales	0.5 - 10.0
Toronja	0.4	Tabaco	0.3 - 1.2
Frijol	0.3 - 0.4	Cacao	5.0
Pepino	0.3 - 0.4	Plátano	0.6 - 0.8
Tomate	0.4 - 0.6	Cítricos	0.6 - 1.0
Apio	0.8 - 1.0	Algodón	5.0
Col	0.8 - 1.6	Caña de	10 - 20
Zanahoria	1.2 - 3.0	azúcar	

### Relacionadas con el Ambiente

**Temperatura.** La temperatura influye en la absorción de nutrimentos vía aspersión foliar. Los datos que se presentan en el Cuadro 5 indican que el fósforo en las hojas de frijol se absorbe en mayor cantidad a 21 °C que a 14 o 25 °C (Jyung y Wittwer, 1964).

**Luz, humedad relativa y hora de aplicación.** Estos tres factores deben de tomarse en cuenta en la práctica de fertilización foliar. La luz es un factor importante en la fotosíntesis y para que una planta pueda incorporar nutrimentos en los metabolitos se requiere de un proceso fotosintéticamente activo en la planta. La humedad relativa influye en la velocidad de evaporación del agua que se aplica. Por consiguiente, una alta humedad relativa del medio favorece la penetración de los nutrimentos al mantener húmeda la hoja. Este último factor está relacionado con la hora de aplicación, la cual debe de practicarse o muy temprano o en las tardes, según las condiciones de la región (Swietlik y Faust, 1984).

### Relacionados con la Planta

**Edad de la planta y hoja.** La aplicación foliar de nutrimentos también está afectada por el estado de

**Cuadro 5. Efecto de la temperatura sobre la absorción de P<sup>32</sup> en hojas de frijol en diferentes horas después de la aplicación.**

Horas después de la aplicación	Absorción de P <sup>32</sup>		
	14 °C	21 °C	25 °C
		μgP <sup>32</sup> .(100g) <sup>-1</sup>	
3	0.015	0.307	0.243
6	0.433	1.04	0.56
12	1.23	1.675	0.738

Fuente: Jyung et al. (1964).

desarrollo de la planta. Se indica, aunque existen pocos datos, que las plantas y hojas jóvenes son las que tienen mayor capacidad de absorción de nutrimentos vía aspersión foliar y desde luego deben de tener un déficit de esos nutrimentos en su desarrollo. Entre especies también hay diferencias, y posiblemente esta diferencia esté fundamentalmente influenciada por el grado de cutinización y/o significación de las hojas. A mayor cutinización, lignificación y presencia de ceras en la hoja, habrá menor facilidad de absorción del nutrimento (Swietlik y Faust, 1984).

### PROPOSITOS DE LA FERTILIZACION FOLIAR

La fertilización foliar puede ser útil para varios propósitos tomando en consideración que es una práctica que permite la incorporación inmediata de los elementos esenciales en los metabolitos que se están generando en el proceso de fotosíntesis. Algunos de estos propósitos se indican a continuación: corregir las deficiencias nutrimentales que en un momento dado se presentan en el desarrollo de la planta, corregir requerimientos nutrimentales que no se logran cubrir con la fertilización común al suelo, abastecer de nutrimentos a la planta que se retienen o se fijan en el suelo, mejorar la calidad del producto, acelerar o retardar alguna etapa fisiológica de la planta, hacer eficiente el aprovechamiento nutrimental de los fertilizantes, corregir problemas fitopatológicos de los cultivos al aplicar cobre y azufre, y respaldar o reforzar la fertilización edáfica para optimizar el rendimiento de una cosecha.

Lo anterior indica que la fertilización foliar debe ser específica, de acuerdo con el propósito y el problema nutricional que se quiera resolver o corregir en los cultivos.

### RESPUESTA DE LOS CULTIVOS A LA FERTILIZACION FOLIAR

Varios trabajos de fertilización foliar han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos. Sin embargo, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables.

En un ensayo de fertilización edáfica y foliar sobre el desarrollo y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Giskin et al. (1984) reportaron un incremento en número de vainas de 43 %, en número de semillas 13 % y en peso de grano 10 %, al

**Cuadro 6. Fertilización edáfica y foliar sobre el desarrollo y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).**

Tratamientos	No. de vainas	No. de semillas	Peso de semillas g
100%FE	32	77	31
85FE+15FF, 80FE+20FF,75FE+25FF	46 43%	87 13%	34 10%
Significancia	*	ns	ns
CV(%)	19	25	14

FE= Fertilización edáfica (160-120-60). FF= Fertilización foliar.

ns = no significativo.

Valores medios de los tratamientos 85FE + 15FF, 80FE + 20FF y 75FE + 25FF.

 Fuente: Giskin *et al.* (1984).

**Cuadro 7. Eficiencia de N aplicado al suelo y follaje antes de la floración (AFL) en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).**

Tratamientos	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	Eficiencia kg (kg N) <sup>-1</sup>
(00-60-30) FE	1602.3	
(30-60-30) FE	1690.9	2.9
(00-60-30) FE + (30N) AFL	2338.6	21.6

FE= Fertilización edáfica al momento de la siembra.

AFL= Nitrógeno foliar aplicado antes de la floración.

Fuente: Chonay (1981).

completar la dosis con 15, 20 y 25 % de fertilización foliar, comparado con 100 % de fertilización edáfica (Cuadro 6).

La eficiencia de aprovechamiento de un nutrimento se eleva al ser aplicado foliarmente. Así lo demostró Chonay (1981) al fertilizar el frijol

**Cuadro 8. Eficiencia de N aplicado al suelo y follaje al llenado de grano (LLG) en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).**

Tratamiento	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	Eficiencia kg (kg N) <sup>-1</sup>
(00-60-30)FE	1511.3	
(30-60-30)FE	1690.9	5.9
(00-60-30)FE + (30N)LLG	2784.8	42.4

FE= Fertilización edáfica al momento de la siembra.

LLG= Nitrógeno foliar aplicado en la etapa de llenado de grano.

Fuente: Chonay (1981).

(*Phaseolus vulgaris* L.) al suelo y follaje. Al aplicar 30 kg de nitrógeno como urea al suelo, cada kg de nitrógeno incrementó 2.9 kg de grano, mientras que aplicando foliarmente la misma cantidad de nitrógeno como urea a 4 %, hubo un rendimiento de 24.5 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado, aumentando 8.5 veces la eficiencia en el aprovechamiento del nutrimento (Cuadro 7). La aplicación de 30 kg de nitrógeno al follaje en el llenado de grano fue mucho más eficiente (42.4 kg de grano por cada kg de nitrógeno) que la aplicación de esa misma cantidad de nitrógeno al follaje antes de la floración (Cuadro 8).

Pérez (1988) reportó un incremento promedio de 17.7 % al aplicar tres aspersiones de NPK foliarmente a partir de una fórmula con 21 % de N, 3 % de P, 3 % de K, y 26.7 % más elementos menores (Cuadro 9). Esto indica una respuesta a la aplicación foliar de elementos menores. Otro dato importante que se observa en el mismo cuadro, es un incremento de

**Cuadro 9. Rendimiento de maíz en grano (t ha<sup>-1</sup>) con fertilización edáfica y foliar en un Andisol de Camébaro, Pátzcuaro, Mich.**

Tratamientos	Rendimiento grano	Incremento <sup>†</sup>	Incremento medio
	t ha <sup>-1</sup>	----- % -----	
(110 - 100) FE + (NPK) FF + (EM) FF	3.805	13.31	
(55 - 50) FE + (NPK) FF + (EM) FF	3.415	14.21	
(27.5 - 25) FE + (NPK) FF + (EM) FF	2.990	29.76	26.76
(0 - 0) FE + (NPK) FF + (EM) FF	1.932	49.76	
(110 -100) FE + (NPK) FF	3.560	6.01	
(55 - 50) FE + (NPK) FF	3.105	3.84	
(27.5 - 25) FE + (NPK) FF	2.792	21.12	17.72
(0 - 0) FE + (NPK) FF	1.805	39.92	
(110 - 100) FE	3.358	160.31 <sup>‡</sup>	
(55 - 50) FE	2.990	131.78 <sup>‡</sup>	
(27.5 - 25) FE	2.305	78.68 <sup>‡</sup>	
(0 - 0) FE	1.290	0.00	
CV(FF)	17.00%		

<sup>†</sup> Incremento por fertilización foliar con respecto a la fertilización edáfica (FE) para cada nivel correspondiente.

<sup>‡</sup> Incremento por fertilización edáfica (FE) con respecto al (0 - 0) FE.

Fuente: Pérez-I. (1988).

**Cuadro 10. Tipos de sales y concentración de fertilizantes foliares de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados.**

Sales	FF NV1 Conc. Sol.	FF NV2 Conc. Sol.	FF NV3 Conc. Sol.
	----- % -----		
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.2		
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.2	0.2	0.1
KNO <sub>3</sub>	-	0.3	0.2
Urea	-		0.2
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.2	0.2	0.2
MgSO <sub>4</sub>	0.1	-	-
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.05	0.05	0.05
MnSO <sub>4</sub>	0.05	0.05	0.05
CuSO <sub>4</sub>	0.05	0.05	0.05
ZnSO <sub>4</sub>	0.05	0.05	0.05
FeEDTA	0.1	0.1	0.1

- No se aplicó en la formulación.

FF= Fertilizante foliar.

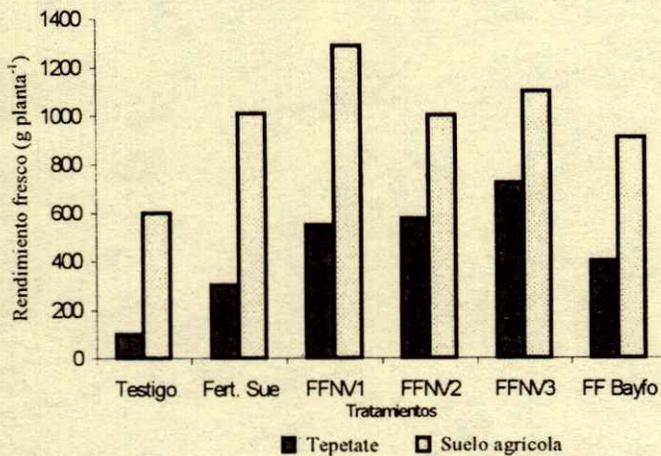
Fuente: Rodríguez, 1997.

rendimiento por concepto de fertilización foliar a bajos niveles de fertilización edáfica.

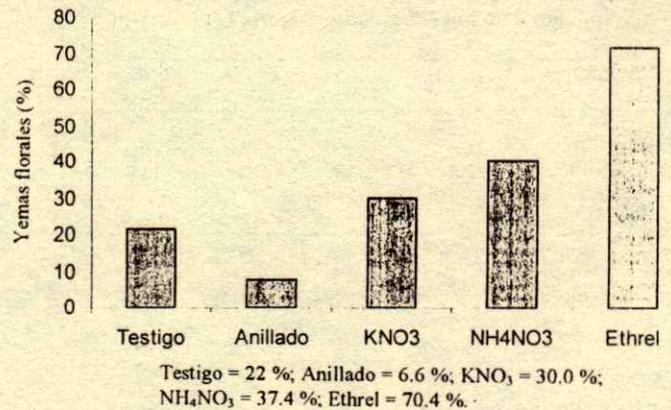
Tal parece que los fertilizantes foliares que llevan una solución nutritiva completa influyen más en el incremento global de rendimiento de un cultivo que cuando se aplican sólo 2 ó 3 nutrimentos.

Rodríguez (1997) probó tres fertilizantes foliares en el cultivo de tomate que contenía todos los nutrimentos esenciales; NV1 a diferencia de NV2 y NV3, contenía calcio y magnesio (Cuadro 10).

El mayor rendimiento se obtuvo en tepetate con el fertilizante foliar NV3, que carece de calcio y magnesio y que posiblemente fueron abastecidos por el tepetate que es rico en calcio (Figura 3). En este



**Figura 3. Rendimiento de tomate fresco con fertilización edáfica y foliar en dos tipos de sustrato (tepetate y suelo agrícola) (Rodríguez, 1997).**



**Figura 4. Diferentes tratamientos foliares para forzar la floración de mango en Cotaxtla, Ver. (Osuna, 1998).**

trabajo se encontró que hubo un incremento de rendimiento de 21 % con la fertilización edáfica y foliar en comparación con sólo la fertilización edáfica.

La fertilización foliar también se ha utilizado para acelerar el proceso fisiológico de algunos árboles frutales, como en el caso del mango. Osuna (1998) reporta que con aplicaciones de nitrato de potasio a 4 % o nitrato de amonio a 2 % aplicados foliarmente, aceleran la brotación de yemas florales en comparación al testigo, que influye en un adelanto en la cosecha de fruta ganando mejores precios en el mercado. Sin embargo, estas sales presentan ciertas desventajas en relación con el Ethrel, que es un producto comercial formulado para este propósito (adelantar la brotación de yemas florales) (Figura 4).

Los trabajos de fertilización foliar deben ser avalados o soportados por un análisis económico para conocer su redituabilidad, que sin duda dependerá del cultivo que se está fertilizando, desde el punto de vista de su remuneración.

Analizando los datos de Rodríguez (1997) (Cuadro 11) se estima que el costo de fertilización foliar por hectárea, asciende a \$ 7000.00 aproximadamente, incluyendo equipo, fertilizantes, jornales de

**Cuadro 11. Análisis económico del cultivo de tomate por concepto de fertilizante foliar.**

Concepto	Beneficio
1. Costo de FF por hectárea	\$ 7000.00
2. Incremento de rendimiento por hectárea por FFF	6000kg (21.7 %)
3. Costo de tomate fresco por tonelada	\$ 3000.00
4. Ingreso total	\$ 18000.00
5. Ingreso neto	\$ 11000.00
6. Tasa de retorno	157 %

trabajo. Con ello se logra un incremento de rendimiento de 21.7 % que equivale a 6 toneladas de tomate por hectárea. Considerando que el precio de tomate fresco por tonelada es de \$ 3000.00, se tendría un ingreso total de \$ 18 000.00 por concepto de incremento de rendimiento. Restándole a este ingreso el costo de fertilización, se logra un ingreso neto de \$ 11 000.00, que equivale a una tasa de retorno de 157 %, es decir, por cada \$ 100.00 invertidos, se están ganando \$ 157.00 por concepto de fertilización foliar.

### CONCLUSIONES

Se puede recalcar, que la fertilización foliar es una realidad en la nutrición de los cultivos y que esta práctica, utilizada convenientemente, optimiza la capacidad productiva de las cosechas tanto de gramíneas, leguminosas, hortalizas, plántulas de vivero, frutales y especies forestales. La fertilización foliar, entonces, es realmente un apoyo o respaldo a la fertilización edáfica para sobrepasar los rendimientos subóptimos.

### LITERATURA CITADA

- Bear, F.E. 1965. Chemistry of soil. Second Edition. Reinhold Publishing Corporation. New York, N.Y. USA.
- Bidweil, R.G.S. 1979. Plant physiology. MacMillan Publishing Co, Inc. New York, N.Y. USA.
- Cardona B., D.J. 1988. Fertilización edáfica y foliar en Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) tipo mercado. Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Montecillo, Méx.
- Chonay P., J.J. 1981. Efecto de la fertilización foliar sobre la compensación de la fijación biológica de nitrógeno por *Rhizobium phaseoli* en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Chapingo, Méx.
- Eibner, R. 1986. Foliar fertilization, importance and prospects in crop production. pp. 3-13. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Franke, W. 1986. The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanism. pp. 17-25. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. pp. 205-211. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- García H., E. del R. y C.B. Peña V. 1995. La pared celular, componente fundamental de las células vegetales. UACH. Primera Edición. México, D.F.
- Giskin, M.L., A. Trinidad S. y J.D. Etchevers. 1984. Can the foliar application of essential nutrients decrease fertilizer inputs? Act. VI. International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition. Vol. 1:239-242. Montpellier, France.
- Johnson, M.O. 1916. The spraying of yellow pineapple on manganese soil with iron sulfate solutions. Hawaii Agr. Expt. Sta. Press Bull. 51.
- Jyung, W.H. y S.H. Wittwer. 1964. Foliar absorption-an active uptake process. Amer. J. Bot. 51: 437-444.
- Kovacs, G. 1986. The importance of environmental, plant and spray characteristics for any foliar nutrition programme to be successful. pp. 26-43. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Leece, D.R. 1976. Composition and ultrastructure of leaf cuticles from fruit trees, relative to differential foliar absorption. Austral. J. Plant Physiol. 3: 833-847.
- Malavolta, E. 1986. Foliar fertilization in Brazil.- Present and perspectives. pp. 170-192. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Osuna E., T. 1988. Anatomía y fisiología de la floración forzada en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Manila. Tesis Doctoral. EFRUT-IREGEP-CP. Montecillo, Méx.
- Pérez I., C. 1988. Fertilización foliar de macro y micronutrientes en un Andosol de la Sierra Tarasca, Michoacán. Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Montecillo, Méx.
- Plancarte M., I. 1971. Fertilización fosfatada al suelo y follaje de maíz en dos suelos de Ando bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. ENA. Chapingo, Méx.
- Reed, D.W. y H.B. Tukey, Jr. 1978. Effect of pH on foliar absorption of phosphorus compounds by chrysanthemum. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 337-340.
- Rodríguez M., Ma. de las N. 1997. Fertilización foliar en el cultivo de tomate en condiciones de invernadero. Tesis Doctoral. EDAF-IRENAT-CP. Montecillo, Méx.
- Swietlik, D. y M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. pp. 287-355. In: J. Janik (ed.). Horticultural reviews. Vol. 6. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. USA.
- Tisdale, S.W., W.L. Nelson y J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Co. New York, NY. USA.
- Trinidad S., A., R. Núñez E y F. Baldovinos de la P. 1971. Aplicaciones foliares de Fe, Mn, Zn y Cu en los árboles de durazno. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Guadalajara, Jal.

# MANAGEMENT OF FOLIAR FERTILIZATION

## Manejo de la Fertilización Foliar en Frutales

Carol J. Lovatt

### SUMMARY

Our approach to management of foliar fertilization is twofold. We identify the role that essential nutrients play in the physiology of tree crops. Then we apply the nutrient as a foliar fertilizer at key stages in the phenology of the tree to stimulate a specific physiological process. This approach has proved successful in the following studies. A single winter prebloom (January or February) foliar application of nitrogen as low-biuret urea ( $0.16 \text{ kg N tree}^{-1}$ ) to 30-year-old 'Washington' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) trees at flower initiation significantly increased yield per tree for each of three consecutive years ( $P \leq 0.05$ ). January or February foliar urea applications increased net cumulative yield  $20.6$  and  $16.4 \text{ t ha}^{-1} 3 \text{ years}^{-1}$ , respectively. Full-bloom foliar-applied urea ( $0.16 \text{ kg N tree}^{-1}$ ) increased net cumulative yield by  $7 \text{ t ha}^{-1} 2 \text{ years}^{-1}$ . In both studies the number of commercially valuable large-size fruit significantly increased as yield increased. Applications of nitrogen (low-biuret urea) or phosphorus (potassium phosphite) at the time of maximum peel thickness of navel orange fruit significantly increased the number of commercially valuable large-size fruit (diameters  $6.9$  to  $8.8 \text{ cm}$  per tree ( $P \leq 0.05$ )). Foliar-applied boron (sodium tetraborate) to 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill) trees at the cauliflower stage of inflorescence development (elongation of inflorescence secondary axes; pollen and ovule formation in the flowers) increased the number of pollen tubes reaching the ovule, ovule viability and net cumulative yield  $12.2 \text{ t ha}^{-1} 3 \text{ years}^{-1}$  ( $P \leq 0.05$ ).

**Index words:** Boron, sodium tetraborate, nitrogen, urea, phosphorus, potassium phosphite

<sup>1</sup> Department of Botany and Plant Sciences, University of California, Riverside, CA 92521-0124 U.S.A.

Recibido: Febrero de 2000.

Aceptado: Junio de 2000.

### RESUMEN

Se hicieron diferentes trabajos de investigación para estudiar el manejo y aprovechamiento de la fertilización foliar. Al mismo tiempo se identificó el papel que juegan los nutrimentos esenciales en la fisiología de los árboles frutales. Se aplicó el nutrimento vía foliar en estados fenológicos clave del cultivo con la finalidad de evaluar procesos fisiológicos específicos. Esto ha sido motivo de numerosos trabajos de investigación de los que a continuación se hace referencia. En invierno (enero a febrero), árboles de navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) cv Washington de 30 años de edad en etapa de prefloración fueron fertilizados vía foliar con urea bajo en biuret ( $0.16 \text{ kg N árbol}^{-1}$ ). Los resultados muestran que se favoreció la floración y se incrementó el rendimiento por árbol en los tres años posteriores a la aplicación ( $P \leq 0.05$ ). Esta aplicación de urea hecha en enero o febrero incrementó el rendimiento neto en  $20.6$  y  $16.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente. La aplicación foliar de urea ( $0.16 \text{ kg N árbol}^{-1}$ ) a árboles de navel orange en plena floración incrementó el rendimiento a  $7 \text{ t ha}^{-1} 2 \text{ años}^{-1}$ . En ambos estudios el número y tamaño comercial del fruto se incrementaron notablemente. La aplicación de nitrógeno (urea con bajo biuret) o fósforo (fosfato de potasio) al momento que se presenta el máximo grosor de la cáscara del fruto, incrementó notablemente el tamaño comercial de los frutos ( $6.9$  a  $8.8 \text{ cm árbol}^{-1}$ ) ( $P \leq 0.05$ ). La aplicación foliar de boro tetraborato de sodio a árboles de aguacate (*Persea americana* Mill) en la floración y desarrollo de éstas (elongación de las inflorescencias secundarias) incrementó el número de tubos de polen que alcanzan el óvulo, la viabilidad del óvulo; el rendimiento neto acumulativo fue de  $12.2 \text{ t ha}^{-1} 3 \text{ años}^{-1}$  ( $P \leq 0.05$ ).

**Palabras clave:** Fertilización foliar, frutales, urea, boro, potasio.

## INTRODUCTION

Seasonal cycles of flowering, fruit set and fruit development for the 'Washington' navel orange and 'Hass' avocado growing in California are depicted in Figures 1 and 2. Fruit set (early fruit drop) is the most critical stage of fruit development from the grower's point of view. It is during this period that the greatest gains in fruit retention influencing final yield can be made. This period is also important to achieving optimal fruit size and quality, although these parameters can be influenced during later stages of fruit development as well. In both crops, flowering and fruit set, which would be expected to have high nutrient demand, occur when soil temperatures are low. Soil temperatures are generally  $\leq 15^{\circ}\text{C}$  from January to April in citrus and avocado growing areas of California (Hamid *et al.*, 1988). Low soil temperature would reduce root metabolic activity, solubility of a nutrient in the soil solution, and transport in the transpiration stream. Thus, the ability of trees to utilize nutrients applied to the soil is dependent on many factors unrelated to nutrient demand. With increased use of sprinkler, drip or micro-jet irrigation systems, there is a growing trend to divide the annual amount of fertilizer to be applied into

eight to 12 small monthly applications. Whereas this strategy reduces the potential for nitrate pollution of the groundwater, it ignores tree phenology and nutrient demand. In contrast, for foliar fertilization, the nutrient must be taken up by leaves of the crop, or other target organs, and be phloem mobile. Foliar fertilization with nutrients for which these criteria are met is considered to be five to 30 times more efficient than soil fertilization depending on the nutrient, crop and soil in which the crop is growing (Anonymous). In addition, foliar fertilization can be timed to meet the tree's demand for a nutrient. Herein are reported optimal stages in the phenology of the citrus and avocado tree when application of nitrogen, phosphorus or boron to the foliage resulted in increased yield and/or fruit size and, in the case of citrus, increased ratio of total soluble solids to acid.

## FOLIAR FERTILIZATION

### Citrus

Embleton and Jones (1974) provided evidence that maximum nutritionally attainable yields for sweet oranges annually required between 0.45 and 0.60 kg N tree<sup>-1</sup>, regardless of fertilization method. Despite

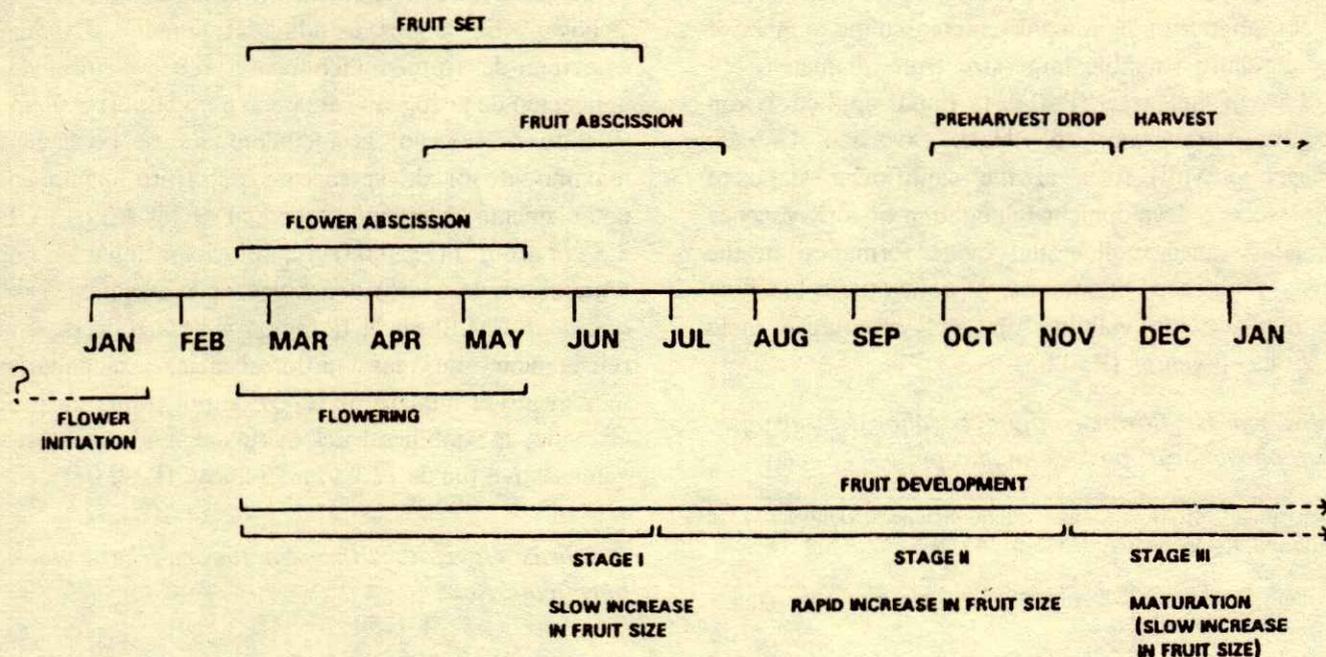


Fig. 1. Phenology model of the navel orange based on 25-year-old 'Washington' navel orange trees on Troyer citrange rootstock at Riverside, California.

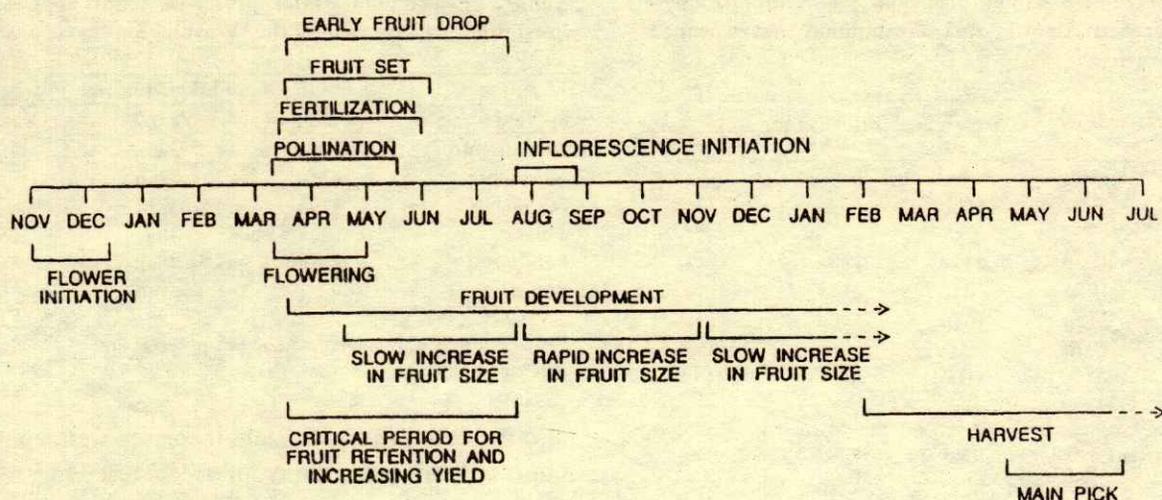


Fig. 2. Phenology model of the 'Hass' avocado based on environmental conditions for southern California.

this, foliar nitrogen fertilization was not widely adopted commercially due to the limits in the amount of nitrogen that can be applied in a single application, necessitating a minimum of three sprays each year to supply the recommended annual rate of nitrogen. In contrast, earlier results of Sharples and Hilgeman (1969) suggested that urea applied to the foliage at the appropriate time might beneficially affect yield. For 7-years, yields of 'Valencia' orange trees receiving only 0.23 kg N tree<sup>-1</sup> split between two foliar applications of urea, one in early February and a second in late April-early May, were statistically equal to yields obtained with 0.45 or 0.91 kg N tree<sup>-1</sup> as ammonium nitrate applied to the soil. The objective of our research was to identify specific times in the phenology of the navel orange tree, during which a single foliar application of low-biuret urea at 0.16 kg N tree<sup>-1</sup> would increase yield and/or fruit size sufficiently to make foliar nitrogen fertilization cost effective. The overall goal was to motivate growers to replace soil-applied nitrogen with foliar nitrogen fertilization and thus, reduce the potential for nitrate pollution of the groundwater.

The efficacy of a foliar application of low-biuret urea during each of three phenological stages was tested in four different commercial navel orange orchards. Prebloom (prior to or during flower initiation) and full bloom were investigated with objective of increasing fruit set and yield in two orchards located in southern California, where yields average 30 t ha<sup>-1</sup> (California Agricultural Statistics

Service, 1991). Maximum peel thickness of the fruit was tested with the goal of increasing fruit size in two orchards in the San Joaquin Valley of California, for which yields average 67 t ha<sup>-1</sup> (California Agricultural Statistics Service, 1991). Previous research in our laboratory provided evidence of a relationship between ammonia (a breakdown product of urea), and its metabolites, and flowering and fruit set in *Citrus*. When stress treatments that promote flowering in *Citrus* were reduced in duration (i.e., four instead of eight weeks of low-temperature treatment) or in severity (i.e., deficit-irrigation instead of withholding irrigation), applying low-biuret urea (0.16 kg N tree<sup>-1</sup>) to the foliage raised the ammonia status of the tree and increased the number of inflorescences/tree and flowers/ inflorescence, but not the number of vegetative shoots (Lovatt *et al.*, 1988a,b). We subsequently demonstrated that metabolism of ammonia to arginine and arginine to polyamines were metabolically linked in navel orange flowers and developing fruit (Sagee and Lovatt, 1991) and provided evidence of the role of specific polyamines in low-temperature stress-induced flowering in navel orange (Ali and Lovatt, 1995). Developing flowers and post-petal fruit borne on leafy inflorescences were characterized by significantly higher polyamine concentrations, faster growth rates and a greater percent fruit set than those borne on leafless inflorescences (Lovatt *et al.*, 1992). Foliar application of low-biuret urea at full bloom significantly increased concentrations of ammonia, arginine and polyamines and fruit growth rate and size

**Table 1. Effects of a winter prebloom foliar application of low-biuret urea on yield of the 'Washington' navel orange, three-year average.<sup>†</sup>**

Month urea applied	Yield kg tree <sup>-1</sup>	Fruit no. tree <sup>-1</sup>		
		All sizes	7.0 a 8.0 cm	6.1 a 6.9 cm
None (control)	85b <sup>†</sup>	542b	172a	274a
November	102a	657a	188a	314a
December	103a	661a	211a	316a
January	113a	761a	190a	358a
February	107a	708a	198a	325a
Significance	P≤0.001	P≤0.01	NS	NS

<sup>†</sup> Ali and Lovatt (1994).

<sup>‡</sup> Means within a column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at P≤0.05. NS = Non-significant at P≤0.05.

by June for fruit of leafy inflorescences (Corona, 1994). Last, based on the well established role of polyamines in promoting growth by cell division and on our finding that foliar-applied urea stimulated polyamine biosynthesis, we hypothesized that a foliar application of low-biuret urea at maximum peel thickness might increase the rate or extend the length of the cell division period of fruit growth, and thus increase fruit size.

**Winter prebloom foliar nitrogen.** For the three successive harvests, from 1990 through 1992, Ali and Lovatt (1994) successfully increased fruit set and yield of the 'Washington' navel orange with a winter prebloom application of low biuret urea applied to the foliage to the point of run-off at a final concentration of 0.5 % N (as Unocal Plus, 20 % N, 0.1 % biuret), to provide 0.16 kg N tree<sup>-1</sup> (Table 1). Control trees received 0.5 kg N tree<sup>-1</sup> as urea (granules, 0.25 % biuret) applied to the soil in winter (November-January). Single foliar applications of urea were made on November 15, December 15, January 15 or February 15. The foliar applications made in January 15 or February 15, the approximate time of irreversible commitment to flowering and flower initiation for the southern California orchard in which the research was conducted (Lord and Eckard, 1987), significantly increased yield for all three years of the study (P≤0.05) (Table 2). Applications of foliar urea made on November 15 or December 15 increased yield in two of the three years (P≤0.05). Yield increases were not accompanied by a decrease in fruit size. As the kg fruit tree<sup>-1</sup> increased in response to foliar-applied urea, the number of fruit of commercially valuable size

**Table 2. Effect of a winter prebloom foliar application of low-biuret urea on yield of the 'Washington' navel orange.<sup>†</sup>**

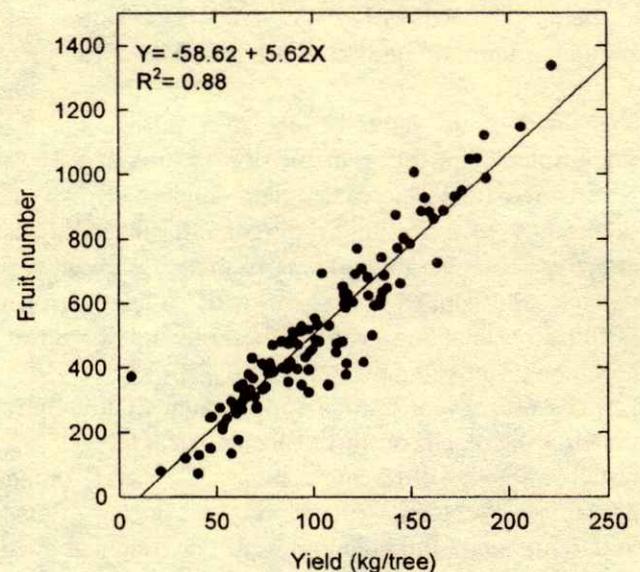
Month urea applied	Yield (kg fruit tree <sup>-1</sup> )		
	Year 1	Year 2	Year 3
None (control)	109b <sup>†</sup>	32c	116b
November	125a	42abc	140a
December	129a	38bc	143a
January	132a	48a	159a
February	127a	46ab	150a
Significance	P ≤ 0.05	P ≤ 0.05	P ≤ 0.01

<sup>†</sup> Ali and Lovatt (1994).

<sup>‡</sup> Means within a column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at P ≤ 0.05.

also increased (Fig. 3). Yield increases were not due to improved nitrogen status of trees receiving a foliar application of low-biuret urea and all trees had optimum levels of N and other nutrients throughout the experiment according to annual September leaf analyses. There was no significant relationship between tree nitrogen status and yield (Table 3). Time of foliar urea application was a significant factor affecting cumulative yield. In each year of this study, the winter prebloom foliar application of low-biuret urea was cost-effective (Ali and Lovatt, 1992). January or February foliar-applied urea resulted in net increases in yield over the control of 20.6 and 16.4 t ha<sup>-1</sup> 3 years<sup>-1</sup>, respectively.

**Full bloom foliar nitrogen.** At full bloom low-biuret urea (as Unocal Plus, 20 % N, 0.1 % biuret) was



**Fig. 3. Yield (kg tree<sup>-1</sup>) vs. number of fruit with diameters of 6.1 to 8.0 cm per tree averaged over 3 years of the study.**

**Table 3. Linear regression analysis of leaf nitrogen content (%) and fruit weight (kg) per tree.<sup>†</sup>**

Independent variable (X)	Dependent variable (Y)	P-value	Coefficient of linear correlation
Nitrogen	Fruit weight per tree	0.78	0.026

<sup>†</sup>Ali and Lovatt (1994).

applied in sufficient water to fully cover the foliage of 'Washington' navel orange trees at a final concentration of 1.3 % N to provide 0.16 kg N tree<sup>-1</sup>. All trees had optimum levels of N and other nutrients throughout the experiment according to annual September leaf analyses. The treatment significantly increased both kg and number of fruit per tree in the "on" year ( $P \leq 0.10$ ), but not in the "off" year (Table 4). Combining the full bloom application of urea with an application of cytokinin (proprietary material) at full bloom and 30 days later significantly increased kg fruit per tree both years of the study ( $P \leq 0.10$ ) (Table 4). As yield increased so did the number of commercially valuable large-size fruit (transverse diameter 7.0 to 8.0 cm) ( $P \leq 0.05$ ) (Fig. 4). Respectively, the two treatments resulted in a net increase in yield over the control of 7 and 11 t ha<sup>-1</sup> 2 years<sup>-1</sup>. Both treatments were cost-effective.

**Maximum peel thickness foliar nitrogen and phosphorus.** Approximately one week or three weeks past petal fall low-biuret urea (as Unocal Plus, 20 % N, 0.1 % biuret) was applied in sufficient water to fully cover the foliage of 'Frost nucellar' navel orange trees at a final concentration of 1.5 % N to provided 0.16 kg N tree<sup>-1</sup>. Both treatments significantly increased the number of large-size fruit (transverse diameter 8.1 to 8.8 cm) in a single, but different, year of the three-year study ( $P \leq 0.05$ ). In an attempt to improve the efficacy of the treatment, the time of maximum peel thickness for navel oranges from

southern coastal California to the northern citrus region of the San Joaquin Valley was experimentally determined for both "on" and "off" crop years. Maximum peel thickness occurred between June 17 and July 27. Based on this result, low-biuret urea (granules, 46 % N, 0.25 % biuret) was applied to fully cover the foliage of 'Frost nucellar' navel orange trees at a final concentration of 1.5 % N to provide 0.16 kg N tree<sup>-1</sup> during mid-May or mid-July. This study included phosphorus, another nutrient that would be in high demand during cell division and a nutrient known to increase fruit quality by increasing kg soluble solids ha<sup>-1</sup> and the ratio of total soluble solids to acid in the juice (Embleton *et al.*, 1973). Phosphorus was applied to the foliage as potassium phosphite (Nutri-Phite, 0-28-26) at a rate of 6 L ha<sup>-1</sup> in mid-May or mid-July or as two applications at 4.6 L ha<sup>-1</sup> in mid-May and mid-July. All trees had optimum nutrient concentrations according to annual September leaf analyses. The July application of urea and the double application of potassium phosphite in May and July were the only treatments that significantly increased the number of commercially valuable large-size fruit (transverse diameter 6.9 to 7.4, 7.5 to 8.0, and 8.1 to 8.8 cm, packing carton sizes 88, 72 and 56, respectively) (Table 5). In addition, these two treatments had higher kg (non-significant) and number of fruit ( $P \leq 0.10$ ) per tree. The double-application of potassium phosphite also significantly increased total soluble solids ( $P \leq 0.001$ ) and the ratio of total soluble solids to acid ( $P \leq 0.01$ ) by early November compared to control fruit. By this date, fruit from trees receiving the two foliar applications of potassium phosphite had a ratio of 8.1 compared to a ratio of 7.2 for control fruit. A minimum ratio of 8.0 is required before navel orange fruit can be harvested in California. Total soluble solids ( $P \leq 0.04$ ) and the ratio of total soluble solids to acid ( $P \leq 0.01$ ) remained significantly higher in

**Table 4. Effect of foliar applications of low-biuret urea (full bloom) and cytokinin (full bloom + 30 days later) on the yield of 'Washington' navel orange.<sup>†</sup>**

Urea applied at full bloom	Cytokinin applied at full bloom + 30 days	Yield			
		"On year"		"Off year"	
		kg fruit tree <sup>-1</sup>	No fruit tree <sup>-1</sup>	kg fruit tree <sup>-1</sup>	No fruit tree <sup>-1</sup>
Control (untreated)		157b <sup>†</sup>	981b	53b	336b
+	-	182a	1198a	57b	380b
+	+	181a	1146ab	73a	448a

<sup>†</sup>Ali and Lovatt (1994).

<sup>†</sup> Means within a column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.10$ .

**Table 5. Effect of low-biuret urea and potassium phosphite applied to the foliage of 'Frost nucellar' navel orange in July or May and July, respectively, on yield and number of fruit per tree of packing carton sizes 88, 72, and 56.**

Treatment	kg fruit tree <sup>-1</sup>	Number of fruit tree <sup>-1</sup>	Number of fruit per tree of packing carton size <sup>1</sup>				
			88	72	56	88+72	88+72+56
Control	126	487b <sup>2</sup>	51b	83b	113b	134b	247b
Urea (July)	148	629a	81a	140a	156a	222a	378a
Potassium phosphite (May and July)	150	621a	84a	140a	166a	224a	390a
Significance	NS	P≤0.10	P≤0.10	P≤0.05	P≤0.10	P≤0.05	P≤0.05

<sup>1</sup> Packing carton sizes 88, 72 and 56 correspond to fruit with transverse diameters 6.9 to 7.4, 7.5 to 8.0, and 8.1 to 8.8 cm, respectively.

<sup>2</sup> Means within a column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at P ≤ 0.05.

fruit from trees treated with potassium phosphite than control fruit 30 days later.

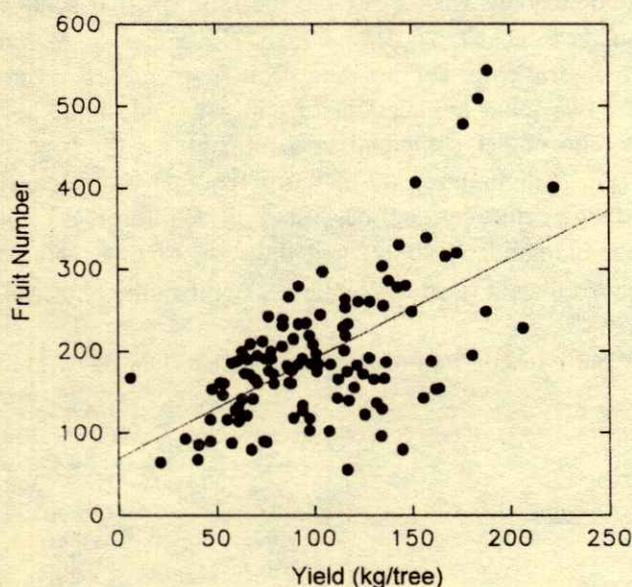
### Avocado

Research using foliar-applied boron to increase fruit set and yield of seeded crops has been extensive. It is based on reports in the literature that document the positive effect of boron on pollen germination; growth of the pollen tube to the ovule; gametogenesis; and cell division during the early stages of fruit development (Lovatt and Dugger, 1984). Yield increases were achieved in response to added boron even for trees with adequate boron levels (Hanson, 1991). Boron sprays were most effective when cool, wet weather predominated during the flowering season, conditions

that reduce bee activity and pollination (Hanson, 1991). In South Africa, Robbertse *et al.* (1990; 1992) demonstrated that when pistils harvested from avocado trees receiving a foliar application of boron were pollinated with pollen from trees also sprayed with boron, pollen germination and pollen tube growth were significantly better than in flowers from untreated trees. However, statistically significant yield increases in response to foliar-applied boron were only achieved in some orchards and in some years (Coetzer *et al.*, 1993). Evidence that nitrogen increased ovule viability was reported by Williams (1965).

**Cauliflower stage foliar boron and nitrogen.** During the cauliflower stage of avocado inflorescence development, boron (sodium tetraborate, Solubor, 20.5 % B), and/or low-biuret urea (Unocal Plus, 20 % N, 0.1 % biuret), was applied to commercial 'Hass' avocado trees to provide 6 grams B per tree, or 0.16 kg N tree<sup>-1</sup>, in sufficient water to give full canopy coverage (Jaganath and Lovatt, 1995). All trees had optimum nutrient levels based on annual September leaf analyses.

The cauliflower stage is characterized by elongation of the secondary inflorescence axes of the inflorescence and pollen and ovule development within the flowers (Salazar-Garcia *et al.*, 1998). Foliar-applied boron significantly increased the number of pollen tubes that reached the ovule for both hand-pollinated 'Hass' avocado trees in a glasshouse and open-pollinated trees in a commercial orchard, and increased ovule viability and cumulative yield in the commercial orchard (P≤0.05) (Tables 6 and 7) (Jaganath and Lovatt, 1995). Foliar-applied urea significantly increased the number of viable ovules and number of pollen tubes that successfully reached the ovule in both the glasshouse and field study and



**Fig. 4. Yield (kg tree<sup>-1</sup>) vs. number of fruit with diameters 7.0 to 8.0 cm per tree averaged over 2 years of the study.**

**Table 6. Effect of boron and/or urea applied to the foliage of 'Hass' avocado trees at the cauliflower stage of inflorescence development on number of pollen tubes penetrating the ovule and percent viable ovules.<sup>†</sup>**

Treatment	Number of pollen tubes penetrating the ovule <sup>†</sup>		Percent viable ovules <sup>§</sup>	
	Glasshous	Field	Glasshouse	Field
Control	1.01d <sup>#</sup>	0.77c	172bc	70b
Boron	2.51a	2.29a	85ab	81a
Urea	1.32c	1.48b	90a	88a
Boron+urea	2.25b	2.10a	82ab	78a

<sup>†</sup> Jaganath and Lovatt (1995).

<sup>‡</sup> Data are the average for 30 samples per treatment.

<sup>§</sup> Data are the average for 20 samples per treatment.

<sup>#</sup> Temperatures were 24 to 30 °C in the glasshouse and 7 to 10 °C in the field.

<sup>¶</sup> Means within a column followed by different letters are significantly different by Tukey's HSD at  $P \leq 0.05$ .

increased cumulative yield ( $P \leq 0.05$ ) (Tables 6 and 7) (Jaganath and Lovatt, 1995). Foliar-applied boron or urea resulted in a net increase in cumulative yield over the control of 12.2 and 11.0 t ha<sup>-1</sup> 3 years<sup>-1</sup>, respectively. (This research will include five harvests when completed.) The increased cumulative yield was accompanied by an increase in the number of commercially valuable large-sized fruit. Treatments were cost-effective. The combined foliar application of boron plus urea, despite having positive effects on the number of pollen tubes that successfully reached the ovule and on ovule viability (Table 6), significantly increased the number of flowers with double pistils ( $P \leq 0.05$ ) and had no effect on yield (Table 7). Robbertse *et al.* (1992) reported that root absorption of boron was restricted in spring. Jaganath and Lovatt (1995) could not increase yield with trunk injections of boron at the cauliflower stage even though trunk injections increased tree boron status to a greater degree than foliar sprays. Urea must be applied

**Table 7. Effect of boron and/or urea applied to the foliage of 'Hass' avocado trees at the cauliflower stage of inflorescence development on yield.<sup>†</sup>**

Treatments	Yield (kg fruit tree <sup>-1</sup> ) <sup>†</sup>			
	Year 1	Year 2	Year 3	Cumulative
Control	69a	82b	41a	192b
Boron	67a	134a	41a	242a
Urea	99a	89b	47a	237a
Boron+urea	56a	87b	43a	186b

<sup>†</sup> Jaganath and Lovatt (1995).

<sup>‡</sup> Data are the average value for 16 individual tree replicates per treatment. Values in each vertical column followed by different letters are significant by Tukey's HSD at  $P \leq 0.05$ .

directly on the inflorescences because mature leaves of the 'Hass' avocado under southern California conditions do not take up urea (Nevin *et al.*, 1990).

Based on our results (Jaganath and Lovatt, 1995) and those of Robbertse *et al.* (1992), boron is used as a foliar bloom spray by growers to increase yield in years in which adverse climatic conditions might reduce pollination and ovule viability.

## CONCLUSION

Winter and spring foliar fertilizer applications likely increase fruit set and yield because of limited availability of nutrients essential for flowering and fruit set due to reduced transpiration and/or nutrient acquisition by roots when air and/or soil temperatures are low. The key has been, however, to identify the specific nutrient elements to be applied and the role each plays in fruit set and development in order to determine the optimal time to apply the nutrient to stimulate a specific physiological process. Our previous research provided evidence that foliar urea applied during or at the end of the low-temperature or water-deficit period increased citrus flowering by elevating the ammonia status of the tree (Lovatt *et al.*, 1988a, b) and increased the polyamine content, growth rate, and size of developing citrus fruit, as well as their potential to set (Lovatt *et al.*, 1992; Corona, 1994). The mechanism by which urea or potassium phosphite applied to the foliage at maximum peel thickness increased fruit size remains to be determined. The increased ratio of total soluble solids to acid in juice of fruit from trees treated with foliar sprays of potassium phosphite is the reported response of citrus fruit to increased phosphorus nutrition (Embleton *et al.*, 1973). The results of our research identified three stages in the phenology of the citrus tree when foliar applied urea-N can be used to increase yield or fruit size. Each foliar urea application provided 25 to 33 % of the annual N required by sweet oranges for maximum yield (Embleton and Jones, 1974). The treatments were cost-effective and reduced the potential for nitrate pollution of the groundwater. Boron, as a foliar spray at the cauliflower stage of inflorescence development of 'Hass' avocado trees, increased the number of pollen tubes penetrating the ovule and the number of viable ovules. Taken together, these results provide evidence that specific nutrients applied as foliar fertilizers efficiently meet tree nutrient

demand and stimulate specific physiological processes to successfully increase yield, fruit size and quality of citrus and avocado.

## REFERENCES

- Anonymous. Undated. PureGro Company, Sacramento, CA
- Ali, A.G. and C.J. Lovatt. 1992. Winter application of foliar urea. *Citrograph* 78: 7-9.
- Ali, A.G. and C.J. Lovatt. 1994. Winter application of low biuret urea to the foliage of 'Washington' navel orange increased yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119: 1144-1150.
- Ali, A.G. and C.J. Lovatt. 1995. Relationship of polyamines to low-temperature stress-induced flowering of the 'Washington' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *J. Hort. Sci.* 70: 491-498.
- California Agricultural Statistical Services. 1991. Sacramento, CA.
- Coetzer, L.A., P.J. Robbertse, and B.P.H. Janse Van Vuuren. 1993. The role of boron in avocados: Theory, practice, and reality. *S.A. Avocado Growers' Assoc. Yrbk.* 16: 2-4.
- Corona, J.C. 1994. Relationship of polyamines to fruit set and growth of the 'Washington' navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. Master Thesis, University of California, Riverside, CA.
- Embleton, T.W. and W.W. Jones. 1974. Foliar-applied nitrogen for citrus fertilization. *J. Environ. Quality* 3: 338-392.
- Embleton, T.W., W.W. Jones, C.K. Labanauskas, and W.J. Reuther. 1973. Leaf analysis is a diagnostic tool and guide to fertilization. pp. 183-211. *In: W.J. Reuther (ed.) The Citrus Industry. Vol. 3. Univ. of California, Div. of Agr. Sci., Berkeley, CA.*
- Hamid, G.A., S.D. Van Gundy, and C.J. Lovatt. 1988. Phenologies of the citrus nematode and citrus roots treated with oxamyl. *Proc. 6th Intl. Citrus Congr.* 2: 993-1004.
- Hanson, E.J. 1991. Boron requirement and mobility in tree fruit species. *Current Topics in Plant Bioch. Physiol.* 10: 240-246.
- Jaganath, I. and C.J. Lovatt. 1995. Efficacy studies on prebloom canopy applications of boron and/or urea to 'Hass' avocado. *Proc. 3rd World Avocado Congr. In press.*
- Lord, E.M. and K.J. Eckard. 1987. Shoot development in *Citrus sinensis* L. (Washington navel orange). II. Alteration of developmental fate of flowering shoots after GA<sub>3</sub> treatment. *Bot. Gaz.* 148: 17-22.
- Lovatt, C.J. and W.M. Dugger. 1984. Boron. pp. 389-421. *In: Frieden, E. (ed.) The biochemistry of the essential ultratrace elements. Plenum Publishing Corp., NY.*
- Lovatt, C.J., O. Sagee, and A.G. Ali. 1992. Ammonia and/or its metabolites influence flowering, fruit set, and yield of the 'Washington' navel orange. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 1: 412-416.
- Lovatt, C.J., Y. Zheng, and K.D. Hake. 1988a. Demonstration of a change in nitrogen metabolism influencing flower initiation in Citrus. *Israel J. Bot.* 37: 181-188.
- Lovatt, C.J., Y. Zheng, and K.D. Hake. 1988b. A new look at the Kraus-Kraybill hypothesis and flowering of Citrus. *Proc. 6th Intl. Citrus Congr.* 1: 475-483.
- Nevin, J.M., C.J. Lovatt, and T.W. Embleton. 1990. Problems with urea-N foliar fertilization of avocado. *Acta Hort.* 2: 535-541.
- Robbertse, P.J., L.A. Coetzer, and F. Bessinger. 1992. Boron: Uptake by leaves and influence on fruit production. *Proc. 2nd World Avocado Congr.* 1: 173-178.
- Robbertse, P.J., L.A. Coetzer, M. Slabbert, and J.J. Bezuidenhout. 1990. The influence of boron on fruit set in avocado. *Acta Hort.* 275: 587-594.
- Sagee, O. and C.J. Lovatt. 1991. Putrescine concentration parallels ammonia and arginine metabolism in developing flowers of 'Washington' navel orange. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 280-285.
- Salazar-Garcia, S., E.M. Lord, and C.J. Lovatt. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "on" and "off" crop years. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 537-544.
- Sharples, G.C. and R.H. Hilgeman. 1969. Influence of differential nitrogen fertilization on production, trunk growth, fruit size and quality and foliage composition of 'Valencia' orange trees in central Arizona. *Proc. 1st Intl. Citrus Symp.* 3: 1569-1578.
- Williams, R.R. 1965. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. *J. Hort. Sci.* 40: 31-41.

# GENERACION Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA EN EL INIFAP, PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA MEXICANA

## Generation and Transference of Technology in INIFAP for the Development of Mexican Agriculture

Rodrigo Aveldaño S., Alfredo Tapia N. y Alejandro Espinosa C.

### RESUMEN

Se presentan antecedentes y estrategias del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) para la generación y transferencia de tecnología para el desarrollo de la agricultura mexicana a través del Programa Agropecuario y de Desarrollo Rural (PADR) 1995-2000 y se establecen avances de los programas Alianza para el Campo, Kilo por Kilo, Granos del Sur, Palma de Coco, Mecanización Agrícola, Café y Capacitación y Extensión.

*Palabras clave:* Generación de tecnología, transferencia de tecnología.

### SUMMARY

Background and strategies of INIFAP are presented on technology development and transfer for improvement of Mexican agriculture, through the Agricultural Program for Rural Development (PADR) 1995-2000. Actual stages of the programs Field Agreement, Kilo for Kilo, South Grains, Coconut Palm, Agricultural Mechanization, Coffee and Training and Extension are reviewed.

*Index words:* Technology development, technology transfer.

### ANTECEDENTES

La investigación agropecuaria y la aplicación de sus resultados se han constituido en uno de los motores del desarrollo económico de los países, de tal manera que al reconocerse este hecho los gobiernos han

---

División General de Investigación Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México DF.

Recibido: Diciembre de 1998.

Aceptado: Junio de 2000.

instituido la investigación como una de las actividades fundamentales en sus políticas de fomento. Para México estos antecedentes datan de principios del siglo cuando, en 1906, el Ejecutivo Federal ante el Congreso de la Unión informa la iniciación de las labores de investigación, enseñanza y asistencia técnica en las estaciones agrícolas experimentales de El Dorado, Sinaloa y de ciudad Juárez, Chihuahua. Asimismo, en 1907, el gobierno mexicano se suscribe como miembro del Instituto Agronómico Internacional de Roma con el propósito de estar acorde con el movimiento agrícola mundial de la época. En ese entonces se definió para México como necesario el establecimiento de la industria derivada de la agricultura, como un apoyo adicional para satisfacer eficientemente las necesidades alimenticias de la población (INIA, 1982).

En cuanto a la transferencia de tecnología, ésta ha ocurrido en todas las épocas, desde que los pueblos han tratado de obtener, por medios lícitos o ilícitos, los adelantos tecnológicos desarrollados por otros pueblos con el objeto de aumentar su producción, mejorar su alimentación, combatir pestes y enfermedades, incrementar su potencial bélico o fortalecer su poder político. Su importancia y dimensión cultural han destacado en las tres últimas décadas, debido entre otras cosas a la globalización de la economía, la concientización de los países llamados en desarrollo y las diferentes revoluciones científico-técnicas (Sábato, 1978). De acuerdo con la literatura sobre el tema este mismo autor señala, que la transferencia de tecnología implica tanto la transmisión de conocimientos desde la ciencia básica a la ciencia aplicada, de una disciplina a otra, de una institución a otra y en forma amplia, a la difusión general del conocimiento científico y técnico; así como de forma contrastante, se refiere también a la utilización precisa de una determinada tecnología en la estructura productiva con el propósito de producir un bien o servicio. En el primer caso la transferencia supone actividades fundamentalmente educativas y académicas como la educación, la extensión y la divulgación; en el segundo, en cambio, se trata de una

actividad básicamente económica y una consecuencia inmediata es la de pagar por dicha transferencia, al igual que se paga por las materias primas, el capital o la mano de obra. De esta forma, la transferencia de tecnología deja de ser tal, en el sentido estricto del término, pues transferencia significa *ceder sin contraposición*, para pasar a ser comercio.

En México, y en particular para la agricultura, la transferencia de tecnología implica las acepciones señaladas por Sábato y ha adquirido una relevancia explícita en el discurso de la actual administración a través del Programa Agropecuario y de Desarrollo Rural 1995-2000 y, de manera operativa, en el Programa de la Alianza para el Campo.

Dentro de este marco sociopolítico se desarrollan las acciones generación y transferencia de tecnología del INIFAP, que es el tema central que se desarrolla en el resto de este documento.

### GENERACION Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA EN EL INIFAP

El INIFAP es un organismo público del Gobierno Federal, que tiene como objetivo generar, validar y apoyar la transferencia de tecnología agropecuaria y forestal, para coadyuvar al desarrollo de la agricultura mexicana y de la sociedad en general. Para llevar a cabo tal objetivo, las acciones del INIFAP se rigen bajo el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 a través de sus lineamientos sectoriales, que para la agricultura es el Programa Agropecuario y de Desarrollo Rural 1995-2000 (PADR 1995-2000).

El diagnóstico del PADR 1995-2000 identifica para la agricultura mexicana severos problemas de rentabilidad, capitalización, producción y productividad, pobreza extrema en 8.8 millones de habitantes del medio rural, situación demasiado preocupante para la sociedad, más aún si se considera el nuevo escenario de apertura comercial que exige mayores niveles de competitividad para los productores del campo.

En este marco está planteado el programa de la Alianza para el Campo<sup>1</sup>, que es el instrumento

operativo de la actual administración y en el que recaen las políticas de fomento agropecuario y de desarrollo rural en el país. Dentro de la Alianza para el Campo, entre productores y ocho secretarías de estado encabezadas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) como cabeza del sector, se concertaron 19 acciones concretas de apoyo y fomento a la producción del campo. Un factor clave que se enfatiza en las acciones de la Alianza para el Campo es la Transferencia de Tecnología como eje dinamizador de los sistemas productivos a través del cual se busca lograr mayores niveles de equidad, productividad y competitividad en el campo.

Con base en este marco, la política de desarrollo del sector agropecuario ha planteado los siguientes objetivos: 1) Incrementar los ingresos netos de los productores y contribuir al combate de la pobreza rural con acciones de fomento productivo; 2) Aumentar la producción agropecuaria por encima del crecimiento demográfico, con un uso racional de los recursos naturales; 3) Contribuir a la seguridad alimentaria del país, mediante el abasto de productos básicos agropecuarios; y 4) Coadyuvar a superar el déficit estructural de la balanza comercial agropecuaria.

En este contexto el PADR 1995-2000 plantea para la investigación y transferencia de tecnología los siguientes objetivos:

- Fortalecer la investigación estratégica y adaptativa, a fin de generar opciones para los pequeños productores.

- Intensificar la investigación sobre restricciones ecológicas, biológicas y técnicas de la producción vegetal y animal, a efecto de incrementar la productividad del sector.

- Estimular la investigación sobre el manejo apropiado de los recursos naturales y proteger el medio ambiente a fin de mantener la base productiva.

- Impulsar la validación y transferencia de tecnología agropecuaria.

<sup>1</sup> La Alianza para el Campo es un programa concertado entre productores y las instituciones del sector público. Estas últimas están representadas por ocho secretarías de estado (Secretaría de Educación Pública; Secretaría del Trabajo y Previsión Social; Secretaría de la Reforma Agraria; Secretaría de Hacienda y Crédito Público; Secretaría de Desarrollo Social; Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural), encabezadas por la Secretaría de Agricultura como cabeza del sector.

Para alcanzar estos objetivos el PADR 1995-2000 plantea dos líneas de acción: 1) Crear un Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria y Forestal para sumar los diversos esfuerzos que realiza el país en la materia; 2) Utilizar a la "Fundaciones Produce"<sup>2</sup>, para transferir la tecnología disponible y también como puente de unión entre la investigación y la producción.

La creación del Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria y Forestal se ha encomendado al INIFAP el cual, una vez integrado, se enfocará por un lado a atender la demanda de los productores y campesinos, considerando las ventajas comparativas del potencial productivo del país y, por otro, a cubrir la demanda gubernamental, considerando la estrategia de aumento de la productividad, reducción de la pobreza y conservación de los recursos naturales.

Los retos asociados a las acciones que se están realizando en estas dos vertientes son los siguientes:

- Mantener los rendimientos alcanzados sobre una base ambientalmente sustentable.
- Intensificar el uso de la tecnología moderna.
- Mejorar la productividad de los pequeños sistemas de producción localizados en las áreas de temporal.

El PADR 1995-2000 plantea la instrumentación de proyectos estratégicos destacando la biotecnología con énfasis en las áreas temporales del país; y la producción sostenible, orientada a los granos básicos, el uso de labranza de conservación y el desarrollo de modelos de simulación.

Se consideran también proyectos agrícolas que contemplan la generación de nuevos materiales de alta productividad, calidad y tolerancia a factores adversos en cultivos básicos: maíz, frijol, trigo, arroz y papa; frutales tropicales con oportunidad en nichos de mercado; producción de semillas, en particular al desarrollo de tecnología de producción de materiales con alta calidad; oleaginosas de ciclo anual, con

énfasis en la obtención de materiales tolerantes a sequía; riego presurizado, con especial atención a la transferencia de sistemas que permitan ahorrar agua e incrementar la productividad y la calidad de los cultivos; nuevas opciones de cultivos con énfasis en la introducción y evaluación de nuevas especies; y el estudio del potencial productivo con especial atención al refinamiento de los procedimientos que conlleven a precisar la orientación de acciones de fomento agropecuario.

Para asumir el papel que le corresponde dentro de las políticas de investigación y transferencia de tecnología enunciadas en el PADR 1995-2000, el INIFAP ha puesto especial atención en vincular los resultados de la investigación con el sector productivo y como retos se propone generar tecnología y apoyar su transferencia para producir 37 millones de toneladas de granos para el año 2000 y para satisfacer una demanda alimentaria de 55 millones de toneladas de granos para el año 2020.

Para apoyar los programas de la Alianza para el Campo mediante la transferencia de tecnología, el INIFAP tiene una estrecha vinculación con las instituciones promotoras del cambio tecnológico, para lo cual cuenta con 1400 investigadores en activo con amplia experiencia en las diversas disciplinas agropecuarias y forestales.

El INIFAP también apoya la toma de decisiones de políticas de fomento mediante su base de datos sobre el "Potencial productivo de especies vegetales", la cual está disponible en cada entidad federativa del país y ha sido de gran utilidad, entre otras cosas, para el diseño de estrategias de reconversión productiva, así como para la instrumentación de programas de fomento productivo.

Entre los programas estratégicos de la Alianza para el Campo que el INIFAP apoya actualmente se pueden citar los siguientes :

**Kilo por Kilo.** Dado que la semilla de buena calidad es uno de los insumos estratégicos de impacto positivo en la producción, así como el hecho de que en México el uso de semilla certificada escasamente alcanza 26 %, el programa "Kilo por Kilo" se instrumentó para intercambiar con el agricultor semilla mejorada por semilla criolla, con el objetivo de promover un mayor empleo de semilla de calidad de las mejores variedades mejoradas disponibles para elevar, principalmente, la producción de maíz y frijol en México. La

<sup>2</sup> Las Fundaciones Produce se crearon en 1996 en las 32 entidades federativas del país como parte de la descentralización de la asignación de recursos orientados a la generación y transferencia de tecnología. Las Fundaciones Produce están constituidas como asociaciones civiles y operan con un presupuesto tripartita teniendo como fuentes de recursos las aportaciones de: 1) Gobierno Federal; 2) Gobierno Estatal y 3) los productores e industriales. Las Fundaciones Produce están integradas por un Consejo Directivo cuyo presidente es un productor, un Comité Técnico presidido por un miembro del sector de investigación y un Consejo Consultivo integrado por productores por sistema producto. Las Fundaciones tienen como objetivo identificar e integrar las demandas tecnológicas del sector productivo para crear la oferta tecnológica en el sector de investigación; de este modo, desempeñan un papel importante en la toma de decisiones en cuanto a la orientación de la investigación aplicada y la transferencia de tecnología.

participación y responsabilidad del INIFAP en el programa es producir la semilla básica y registrada, en flujo constante y suficiente para llegar a la semilla certificada para que se siembre un millón de hectáreas de maíz y 400 mil de frijol, adicionales a las que actualmente se siembran con semilla certificada.

**Granos del Sur.** El INIFAP ha evaluado la potencialidad y factibilidad de aprovechar casi dos millones de hectáreas adicionales a las sembradas anualmente con maíz durante el ciclo agrícola de otoño-invierno (O-I) bajo condiciones de riego en el sur-sureste<sup>3</sup> del país. En esta región la tierra de labor se aprovecha principalmente durante el ciclo primavera-verano (P-V) debido a la falta de infraestructura de riego. Es en este sentido que el INIFAP plantea la necesidad de invertir en infraestructura de riego y en una amplia labor educativa para aprovechar de manera sensata y rentable estos recursos hasta ahora prácticamente no aprovechados. Dado que el ciclo de O-I (noviembre a abril) es típicamente seco y el régimen de temperatura menos alta que durante el ciclo de P-V (junio a octubre), existe la potencialidad para la producción de cultivos de ciclo corto. De aquí que si se dedicaran a la producción de maíz, al menos un millón de hectáreas durante el ciclo O-I en esta región, se estaría en condiciones de contribuir a la producción adicional de grano de maíz en al menos seis millones de toneladas. Esta contribución sería suficiente para cubrir las importaciones anuales de maíz que para México fluctúan entre 3 y 4 millones de toneladas anuales. Actualmente se cuenta con un programa de 23 módulos de investigación y demostración de la tecnología disponible en el INIFAP donde se genera información para apoyar la instrumentación de un programa de gran magnitud.

**Palma de Coco.** En México se cultivan cerca de 170 mil hectáreas con palma de coco para la producción de copra y de las cuales dependen alrededor de 70 mil familias. Uno de los problemas de mayor importancia económica que amenaza a las plantaciones de cocotero es el "Amarillamiento Letal" el cual devastó en el país, de 1989 a 1996, una superficie de 13 mil hectáreas. La región productora "Golfo-Caribe" mantiene un riesgo de 100 %, mientras que la región del "Pacífico" mantiene un riesgo del

40 %, respectivamente, de ser atacadas. El Amarillamiento Letal es una enfermedad transmitida por un insecto vector identificado como *Myndus Crudus* Van Duzee (*Homoptera: Fulgoroidea: Cixiidae*). Una de las limitaciones para hacer frente a este riesgo es la falta de huertas madre para producir híbridos. En este marco, el INIFAP cuenta con un programa de gran visión de cocotero con dos componentes: 1) Mejora genética para la obtención de híbridos resistentes al Amarillamiento Letal a través de la cruce entre las variedades Enano malayo y Criollo alto del pacífico, y 2) Establecimiento de 350 hectáreas de huertas madre entre 1997 y 1998 en los estados de Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Guerrero, Chiapas, Oaxaca y Colima. El programa tiene como meta apoyar la renovación de plantas dañadas y plantas viejas en 14 mil hectáreas para el año 2001 y 20 mil para el año 2002.

**Café.** El café es uno de los cultivos considerados como estratégicos, por constituirse como fuente importante de divisas y empleo para México. La cosecha de este cultivo alcanza poco más de 745 mil hectáreas, con una producción de 4.1 millones de sacos de 60 kilogramos, de los cuales se exporta 78 % del volumen total lo cual representa 6.4 % de las exportaciones alimenticias del país; asimismo, se generan empleos para más de tres millones de mexicanos involucrados en las actividades de cosecha, beneficiado y comercialización del café.

Actualmente la problemática en el proceso de producción del café se encuentra principalmente en el uso de variedades de bajo rendimiento, en la falta de semilla con resistencia a enfermedades y en plantaciones viejas y afectadas por la "roya anaranjada". Para hacer frente a esta problemática el INIFAP ha desarrollado tecnología de manejo, así como la primera variedad mexicana de café "Oro Azteca", la cual es resistente a la roya, con potencial productivo para triplicar los rendimientos actuales, con un amplio rango de adaptación a las zonas cafetaleras de México y con buena calidad de taza. Para hacer accesible esta tecnología a los productores, el INIFAP cuenta con un programa de transferencia de tecnología que consiste en la producción de 700 mil plantas de la variedad Oro Azteca para establecer 400 módulos de capacitación y demostración en los 10 estados cafetaleros más importantes del país. Además de la capacitación, a través de estos módulos, los

<sup>3</sup> Considera los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Guerrero y Oaxaca.

productores tendrán acceso a semilla mejorada para renovar sus plantaciones.

**Mecanización agrícola.** En México 70 % de las unidades de producción operan con tracción animal lo que hace más ardua la labor del campo y ocasiona una baja productividad de la mano de obra. Con el propósito de apoyar tales unidades de producción con implementos adecuados a este estrato de pequeños productores, el Programa Nacional de Mecanización del INIFAP inició en 1997 la operación de siete proyectos de investigación, se implementó un Centro Nacional de Estandarización de maquinaria y se establecieron tres módulos de difusión, capacitación y transferencia de tecnología; para 1998 se incrementó el programa a 28 módulos con 4500 participantes entre técnicos y productores. A través del aprovechamiento de la potencia animal disponible, se espera duplicar la productividad de la mano de obra y reducir en 50 % los costos de producción por este concepto.

**Capacitación, Extensión, Ferias, Simposios.** Una de las actividades relevantes llevadas a cabo por el INIFAP es el apoyo a la capacitación y extensión. En general los campos experimentales del INIFAP se constituyen año con año como receptores de miles de visitantes a través de diversos eventos como los días del agricultor, ferias, exposiciones, seminarios, simposios nacionales e internacionales, a los que acuden y participan productores, investigadores, técnicos, estudiantes, empresarios y funcionarios. Así mismo, como parte de los servicios que ofrece el INIFAP, se llevan a cabo con regularidad cursos cortos de actualización para técnicos de las empresas establecidas en las diversas regiones productoras del país.

Como parte de los compromisos interinstitucionales, el INIFAP apoya año con año al Sistema Nacional de Extensión Agropecuaria, en particular con cursos de "Inducción" y cursos "especializados" del Programa Elemental de Asistencia Técnica orientado a los pequeños productores de granos básicos ubicados principalmente en las zonas temporaleras del país; por ejemplo, en 1997, el INIFAP apoyó la capacitación en 27 estados con la participación de 8900 extensionistas, siendo estas cifras similares para 1998.

Cabe destacar el apoyo del INIFAP con el componente de capacitación y asesoría a organismos gremiales como la Confederación Nacional Campesina (CNC) en sus programas "Red de Jóvenes para la Transferencia Tecnológica" y "Centros de Gestión Campesina". El

primero es un programa para formar a hijos de campesinos como técnicos prácticos; la capacitación dura de cuatro a seis meses y está planeada de tal forma que los jóvenes, al concluir la fase de capacitación, se incorporen con al menos un proyecto productivo para su comunidad contando para ello con el apoyo de las instituciones involucradas en el programa; en 1998 la Red está en su tercer año de avance con la participación de 2400 jóvenes campesinos de 29 entidades federativas del país. El segundo, se trata de un programa piloto para crear centros de gestión campesina en los estados de Sonora, Tlaxcala, Veracruz y Puebla. La finalidad es apoyar la cadena productiva con productores organizados a través de proyectos específicos.

Como se puede apreciar en los párrafos anteriores, el INIFAP es una institución comprometida con los productores del campo mexicano, por lo que es una preocupación constante para el Instituto contar con una retroalimentación efectiva de los productores lo cual se logra, en gran medida, con las acciones de transferencia de tecnología señaladas, en las que ellos tienen una participación cada vez más estrecha con los investigadores.

## CONSIDERACIONES FINALES

Si se considera que la investigación y la transferencia de tecnología requieren de esfuerzo constante y más aún, esfuerzos crecientes para países con fuertes rezagos sociales y económicos como el nuestro, se debe poner especial atención a la generación y desarrollo de estrategias de transferencia de tecnología para resolver situaciones de mediano y largo plazo. Esto implica una mayor eficiencia en el uso de los escasos recursos disponibles, así como de la formación y actualización técnico-científica de los investigadores mexicanos. En lo que concierne al INIFAP, se cuenta con un programa de formación de recursos humanos, principalmente a nivel de doctorado en el extranjero para fortalecer tanto sus seis "Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria", como sus Campos Experimentales Estratégicos"; asimismo, constantemente se ha estado insistiendo ante las instancias correspondientes sobre la renovación del personal científico, ya que prácticamente no se han hecho contrataciones en el INIFAP desde hace poco más de 10 años. Por otra parte, el Instituto se encuentra en una fase de renovación de sus convenios

de colaboración con las instituciones de investigación y universidades del país como parte del proceso de creación del Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria y Forestal, a fin de articular en el mediano plazo las capacidades y esfuerzos de investigación y transferencia de tecnología en programas nacionales interinstitucionales. Con ello se busca aportar respuestas más efectivas a los grandes problemas nacionales de la producción.

### LITERATURA CITADA

- INIA. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 1982. Ciclos de cultivo. Ed. INIA, México.
- Sábato, J.A. 1978. Transferencia de tecnología: una revisión bibliográfica. CEESTEM, México.
- SARH. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1997. Programa Agropecuario y de Desarrollo Rural 1995-2000, México.

# ENZIMAS-ALGAS: POSIBILIDADES DE SU USO PARA ESTIMULAR LA PRODUCCION AGRICOLA Y MEJORAR LOS SUELOS<sup>1</sup>

Seaweed-Enzymes: Possibilities for Stimulating Crop Yield and Improving Soil Quality

Benito Canales López<sup>2</sup>

## RESUMEN

Es mucha la literatura que trata sobre el uso de algas marinas y sus derivados en la agricultura y son muchos los países que siguen esta práctica, pues los resultados en los rendimientos y la calidad de las cosechas son muy satisfactorios, así como el mejoramiento de las condiciones del suelo por la incorporación de la materia orgánica. De los estudios hechos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y de las pruebas de campo llevadas a cabo con agricultores cooperantes, se reporta que se han alcanzado rendimientos extras de 1 a 3 t ha<sup>-1</sup> de maíz, trigo y arroz, los básicos más importantes, cuando se les ha aplicado de 1 a 3 L ha<sup>-1</sup> de ALGAENZIMS<sup>MR</sup>, que es un extracto de algas marinas hecho en México. México cuenta con extensos litorales con plataforma marina donde proliferan las algas, aun no se ha cuantificado esta producción, pero al juzgar por las cantidades superindustriales que el mar arroja a las playas y que ahí se pudren es muy probable que, al utilizarlas, haya algas suficientes como materia prima para tratar los 12 millones de hectáreas de tierra que México tiene de riego y buen temporal. De organizarnos para llevar a cabo esta práctica es factible, desde el punto de vista agronómico, que al aplicar la técnica propuesta y con la misma superficie ya en cultivo, México deje de importar básicos al incrementar rendimientos a bajo costo y además mejorar o rehabilitar los suelos como subproducto.

**Palabras clave:** *Algaenzimas, fertilización foliar, nutrimentos.*

<sup>1</sup> Las ideas, opiniones y conceptos expuestos en este artículo son responsabilidad exclusiva del autor.

<sup>2</sup> Palau Bioquim, S.A. de C.V.  
email: [palaubio@mcsa.net](mailto:palaubio@mcsa.net)

Recibido: Febrero de 2000.  
Aceptado: Junio de 2000.

## SUMMARY

The use in agronomy of seaweed along with seaweed byproducts has extensively been reviewed and many countries utilize this practice, because by using seaweed the quality and yield of crops are enhanced. In addition, they improve the condition of the soil by the incorporation of the organic matter. Researchers from Antonio Narro University, Mexico, along with cooperating farmers found that there is an increase of 1 to 3 t ha<sup>-1</sup> of corn, wheat, and rice, among other crops, by supplying from 1 to 3 L ha<sup>-1</sup> of Algaenzims<sup>MR</sup>, which is an extract of seaweed made in Mexico. Mexico has extensive littorals where seaweed grows naturally. So far, nobody is doing research on seaweed neither on yearly seaweed biomass production. Considering that lots of seaweed are left over the beaches that rot later on, there is a high probability that these quantities of seaweed be sufficient to be used as raw material to apply to 12 million ha of irrigation and rain-fed areas. If this practice is adopted, Mexico may not import grains anymore by increasing yield at low costs.

**Index words:** *Algaenzims, foliar fertilizer, nutriment.*

## INTRODUCCION

México cuenta con 6 millones de ha de riego y 6 millones de ha de tierras de buen temporal. También tiene extensos litorales donde proliferan las algas marinas. Por otro lado, México importa anualmente granos para la alimentación básica con valor de miles de millones de dólares, situación que hace prioritaria la necesidad de incrementar los rendimientos y la productividad en forma competitiva, así como mejorar las condiciones del suelo por la incorporación de la materia orgánica.

El objetivo del presente trabajo fue utilizar las algas marinas como biofertilizante con la finalidad de incrementar los rendimientos de los cultivos y bajar los costos de producción, así como favorecer la calidad del suelo.

## Algas-Enzimas

Senn (1987) reporta que la incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos básicamente porque se administra a los cultivos no sólo todos los macro y micronutrientes que requiere la planta, sino también 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento. Dentro de los compuestos ya identificados en las algas se tienen agentes quelatantes como ácidos alginicos, fúlvicos y manitol así como vitaminas, cerca de 5000 enzimas y algunos compuestos biocidas que controlan algunas plagas y enfermedades de las plantas (Crouch y Van Staden, 1992).

Las algas marinas se aplican en la agricultura tal cual, en forma de harina, de extractos y de polvos solubles. Si los derivados son elaborados en la forma apropiada, los organismos vivos que contienen se conservan en estado viable y se propagan por un tiempo donde se aplican potenciando su acción, lo que hace posible la aplicación de dosis muy bajas (Blaine *et al.*, 1990; Crouch y Van Staden, 1992).

Las algas marinas y/o sus derivados mejoran el suelo (Figura 1) y vigorizan las plantas incrementando los rendimientos y la calidad de las cosechas. Su uso es ya común en muchos países del mundo y, a medida que esta práctica se extienda, irá sustituyendo el uso de los insumos químicos por orgánicos, favoreciendo así la agricultura sustentable.

Las enzimas tienen la facultad de provocar y activar reacciones catalíticas reversibles a la temperatura del organismo vivo (Small y Green, 1968). Sus reacciones son específicas: de un elemento, de un ion, de un compuesto o de una reacción; para esto, la forma geométrica del "punto activo" de la enzima debe coincidir perfectamente con la geometría del "punto de reacción" de los compuestos que están en el sustrato para que la liga (el enchufe) tome lugar, como la llave (sustrato) en una cerradura (enzima). Son dos los compuestos reactantes del sustrato que se acomodan así en el punto activo de la enzima; en el caso de las enzimas hidrolasas, uno de ellos es agua disociada  $H^+$ ,  $OH^-$ .

Hay compuestos tóxicos, cuya forma geométrica del "punto de reacción" se acomoda perfectamente al "punto activo" de la enzima inhibiéndola, de tal manera, que no pueda realizar la liga con el sustrato.

Estos compuestos se denominan inhibidores enzimáticos (Senn, 1987).

## Algas Marinas como Fuente de Enzimas, Alternativa y/o Complemento

Al incinerar las algas, dejan un residuo de cenizas cinco o seis veces mayor que el que dejan las plantas; consecuentemente, tienen más metabolitos y, por lo tanto, más enzimas. Esta es la razón del porque, al usar algas marinas y/o sus derivados en la agricultura, se aporta un complejo enzimático extra diverso y cuantioso que efectúa cambios en las plantas (y en el suelo) que sin ellos, no toman lugar.

Fox y Cameron (1961) y López *et al.* (1995) mencionan que, al aplicar foliarmente extractos de algas marinas, las enzimas que éstas contienen refuerzan en las plantas su sistema inmunitario (más defensa) y su sistema alimentario (más nutrición) y activan sus funciones fisiológicas (más vigor).

Además, las microalgas cianofitas que los extractos de algas conllevan, ya sea que se apliquen foliarmente o al suelo, fijan el nitrógeno del aire aún en las no leguminosas (Martínez y Salomon, 1995). Resultado: plantas más sanas con mejor nutrición y más vigorosas.

Al aplicar algas marinas o sus derivados al suelo, sus enzimas provocan o activan en él reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles que las enzimas de los seres vivos que en él habitan e inclusive las raíces no son capaces de hacer en forma notoria de tal manera que, al reaccionar con las arcillas silícicas o las arcillas de hidróxidos más arena, actúan del compuesto que se encuentra en mayor cantidad en favor del que se encuentra en menor proporción y tiende a llevarlo al equilibrio; o sea, al suelo franco ajustando también el pH (Reyes, 1993). También hidroliza enzimáticamente los compuestos no solubles del suelo, desmineralizándolo, desintoxicándolo y desalinizándolo.

En los carbonatos libera el anhídrido carbónico formando poros, lo que sucede así mismo al coagular las arcillas silícicas, descompactándolo; todo, en forma paulatina, se logra así: el mejoramiento físico, químico y biológico del suelo, haciendo del mismo un medio propicio para que las plantas se desarrollen mejor (Blunden, 1973; Kluger, 1984; Reyes, 1993).

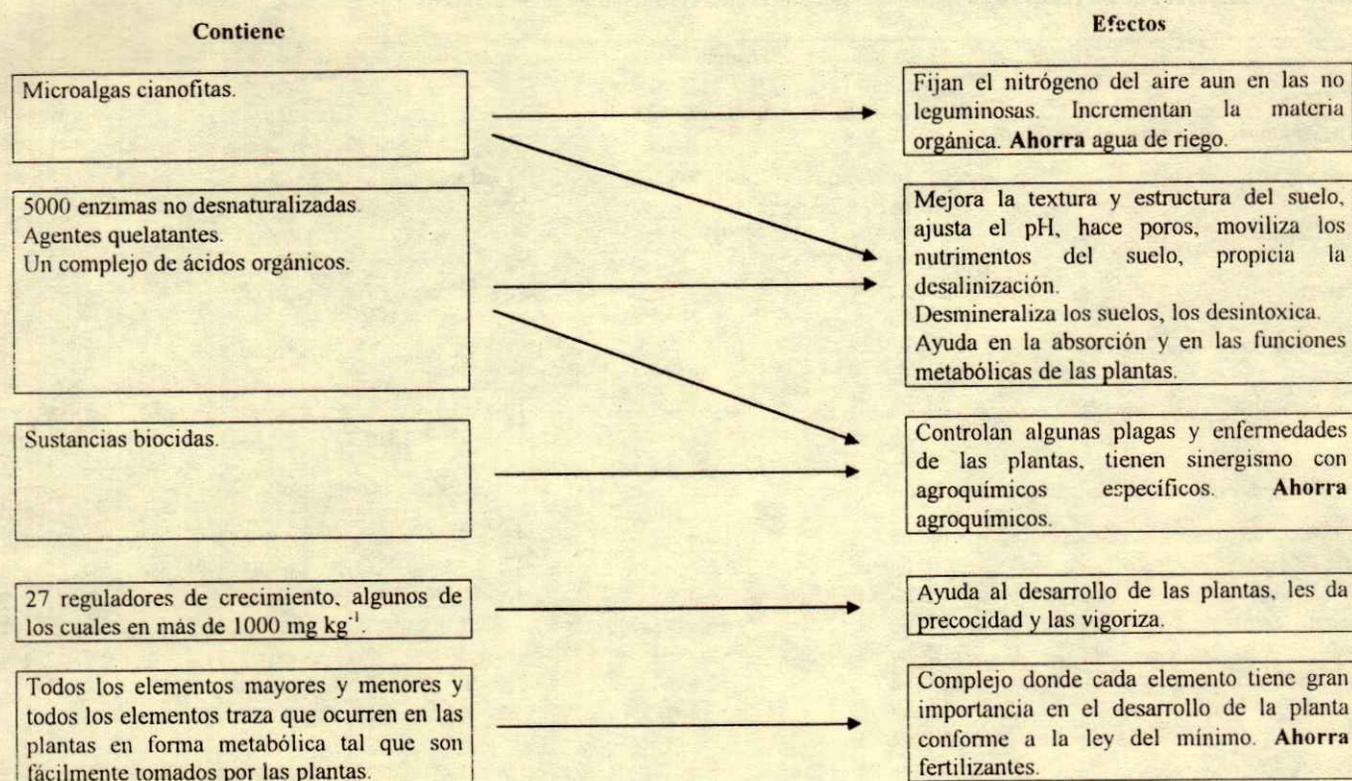


Figura 1. Efectos de los extractos de las algas marinas en las plantas y en el suelo.

### Uso de Extractos de Algas Marinas en Campos Mexicanos

Después de 12 años de observaciones, estudios e investigaciones, experimentos y pruebas, en 1990 se logró con tecnología mexicana obtener y, de 1990 a 1998, llevar a nivel comercial el uso de un extracto de algas marinas mexicanas (macro y micro) denominado ALGAENZIMS<sup>MR</sup>, cuya dosis de aplicación en cultivos básicos es de 1 L ha<sup>-1</sup> foliar y/o 1 L ha<sup>-1</sup> al suelo.

El resultado del diseño del proceso y características del producto: extracto de algas marinas (ALGAENZIMS<sup>MR</sup>) se ha llevado a prueba y error, a paso y medida que se genera el conocimiento en el desarrollo del mismo proceso. He sido auxiliado por personal de los laboratorios de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (UAAAN) y del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ambos en Saltillo, Coah. Con el resultado de los

análisis en cada caso se decide el siguiente paso del proceso. La búsqueda de mejoramiento de proceso y producto continúa.

Respecto a la búsqueda de las dosis y su efecto en los muestreos y calidad en las cosechas y cambios en el suelo, llevado a cabo con experimentos que son base para tesis profesionales en la UAAAN, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).

La aplicación de extractos de algas se considera únicamente en cultivos de riego y buen temporal, dado que las principales reacciones enzimáticas que se dan son de hidrólisis que, sin agua, no tienen lugar o, con escasez de la misma, su actividad es menor. La aplicación de extractos de algas marinas a los cultivos son al suelo, foliar y suelo más foliar. El último es el que más rendimiento extra proporciona (Cuadro 1).

Hasta ahora, el costo de la aplicación de extractos de algas es, además del costo que da la práctica, usual,

Cuadro 1. Resultados de incremento en la producción por la incorporación de algaenzimas.<sup>†</sup>

Cultivo	Dosis ha <sup>-1</sup> Algaenzims <sup>MR</sup>	Producción ha <sup>-1</sup>	Incremento ha <sup>-1</sup>	Costo t <sup>-1</sup>	
<b>Experimentos para tesis profesionales</b>					
Trigo var. AN Tongo	1 L ha <sup>-1</sup> Suelo	4.1 a 5.9	1.8 = 44 %	\$166.66	(1)
Chile serrano	0.5 L ha <sup>-1</sup> Foliar	10 a 15	5 = 50 %	\$120.00	(2)
	2 L ha <sup>-1</sup> S				
Cilantro	1 L ha <sup>-1</sup> F	26 a 32.3	6.3 = 24 %	\$126.98	(3)
	2 L ha <sup>-1</sup> S				
Tomate de cáscara cv. Imperial	2 L ha <sup>-1</sup> F	16.2 a 28.9	12.7 = 78 %	\$ 50.40	(4)
	2 L ha <sup>-1</sup> S				
Papa var. Alfa	1.2 L ha <sup>-1</sup> F	50.9 a 62.9	12 = 23 %	\$ 50.00	(5)
	2 L ha <sup>-1</sup> S				
	1 L ha <sup>-1</sup> F				
<b>Prueba de campo con agricultores cooperantes</b>					
Trigo var. Aconchi	1 L ha <sup>-1</sup> S	4.0 a 7.2	3.2 = 80	\$ 62.50	(6)
Maíz Pioneer	1 L ha <sup>-1</sup> F	6.0 a 10.4	4.4 = 73 %	\$ 45.45	(7)
Maíz Dekalb	1 L ha <sup>-1</sup> F	5.6 a 9.7	4.1 = 73 %	\$ 48.78	(8)
Maíz de temporal Criollo Catalán	1 L ha <sup>-1</sup> F	1.5 a 3.5	2 = 133 %	\$100.00	(9)
Arroz	1 L ha <sup>-1</sup> F	3 a 6	3 = 50 %	\$ 66.67	(9)
Algodón var. Delta Pine 5415	1 L ha <sup>-1</sup> F	2 a 3.4	1.4 = 66 %	\$142.86	(8)
Tomate var. Rome	2 L ha <sup>-1</sup> S	55 a 80	25 = 45 %	\$ 20.00	(10)
	1 L ha <sup>-1</sup> F				
Papa var. Premier	2 L ha <sup>-1</sup> S	48 a 53	5 = 13 %	\$ 80.00	(11)
	1 L ha <sup>-1</sup> F				
Caña de azúcar Nco-310 (Trisoca)	2 L ha <sup>-1</sup> S	69 a 114	45 = 66 %	\$ 13.33	(12)
	1 L ha <sup>-1</sup> F				

<sup>†</sup> por tonelada extra y únicamente por concepto de ALGAENZIMS<sup>MR</sup>, a \$200.00 L<sup>-1</sup> (1998).

(1) Herrera, 1995. [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)]. (2) Soriano, 1993, UAAAN. (3) Tinajero, 1993, UAAAN. (4) Flores, 1997, UAAAN. (5) Talamás, 1998, UAAAN. (6) Ing. Francisco Javier Hernández 1994, Navojoa, Son., tel (142)21506. (7) M. Martínez G., 1997, Ejido Benito Juárez, Concordia, Chis. Bufete: Servicios Agropecuarios Frailescanos, S.A. de C.V., Villa Flores, Chis., tel (965) 20239. (8) Ing. Roberto Morales, 1997, Culiacán, Sin., tel (67) 146321. (9) Unión de Ejidos «Alfredo V. Bonfil», 1996, Villa Isla, Ver., tel (462) 41296. (10) M. Aguilera C., 1995, Navojoa, Son., tel 142 23139. (11) Ing. A. López Recio, 1995, Saltillo, Coah., tel (84) 163273. (12) Sres. Saenz Couret. Ing. Carlos Mixquez, 1997, Depto. Técnico del Ingenio «Aarón Saenz», Xicotencatl, Tamps., tel (123) 50222.

aun cuando es factible obtener buenos rendimientos disminuyendo el uso de fertilizantes y agroquímicos (Cuadro 2).

#### Experimentos Hechos Alrededor del Mundo con Extractos de Algas en la Agricultura

**Cacahuete.** El volumen de la semilla se incrementó 65 %. También el contenido de proteínas (Featonby Smith y Van Staden, 1987).

**Camotes.** El rendimiento se incrementó en 100 %, (Senn y Kingman, 1978).

**Coliflor.** El diámetro de la flor se incrementó significativamente (Abetz y Young, 1983).

**Crisantemo.** Se redujo considerablemente la población de araña roja y de áfidos (Stephenson, 1966).

**Chile pimienta.** El enrojecimiento se tardó 59 días en lugar de 26, fue significativo (Blunden *et al.*, 1978).

**Chile pimienta.** Se incrementó la absorción de B, Cu, Fe, Mn y Zn (Lynn, 1972).

**Fresa.** La cosecha se incrementó significativamente (Stephenson, 1966).

**Lima.** Se retardó significativamente la desaparición del color verde (Blunden *et al.*, 1978).

**Maíz y frijol.** Obtuvieron incrementos de 1.5 % y 7.7 %, respectivamente; testigo 100 % fertilizante (5-10-10 lbs acre<sup>-1</sup>), tratado 50 % (2.5 a 5-5 lbs acre<sup>-1</sup>) de fertilizante más aplicación foliar de tres galones de extracto de algas por acre (9.5 L ha<sup>-1</sup>). Lo interesante es que con 50 % del fertilizante más extracto de algas, es factible obtener la misma o más producción que con 100 % de fertilizante (Senn y Kingman, 1978).

Cuadro 2. Costo de producción con aplicación de ALGAENZIMS<sup>MR</sup>

Costo por t extra	Maíz	Soya
	Trigo	Frijol
	Sorgo	Cártamo
	Arroz	
Concepto	2 t ha <sup>-1</sup>	1 t ha <sup>-1</sup>
Algaenzims 1L ha <sup>-1</sup>	\$100.00	\$200.00
Su aplicación	50.00	50.00
Cosecha, maniobras y transporte	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>
Total	\$250.00	\$350.00

**Manzano.** Reducción significativa en la población de la araña roja (De Villiers *et al.*, 1983).

**Melón.** Se incrementó el contenido de azúcar en 2 a 3 %. Se incrementó la absorción de Mg, N y Ca, (Aitken y Senn, 1965).

**Nabo.** El mildew polvoso se redujo 70 % (Stephenson, 1966).

**Pepino cv. pepinova.** El rendimiento se incrementó más que 40 %. La vida de anaquel se incrementó de 14 a 21 días. Se redujo la población de araña roja (Povolny, 1969).

**Soya.** Se incrementó significativamente el contenido de proteínas (Senn y Kingman, 1978).

**Tomate.** Se incrementó la resistencia a las heladas, (Senn y Kingman, 1978).

**Tomate.** Se incrementó el contenido de N, P, K, Mg y Fe (Booth, 1966; Blunden y Wildgoose, 1977).

**Zanahoria.** El rendimiento se incrementó casi 100 % (Stephenson, 1968).

Blunden (1973), en relación con diferentes cultivos cita lo siguiente:

**Chile pimiento.** El experimento se llevó a cabo en La Florida, USA. Se hizo una aplicación de extracto de algas cuando la primera floración. El incremento en la cosecha fue de 26.6 %. Los chiles del área tratada tuvieron más vida de anaquel que los del testigo.

**Papa.** El experimento se llevó a cabo en La Florida, USA. Cuando las plantas estaban en floración se les aplicó extracto de algas, foliarmente. El incremento en cosecha fue de 36 % y la calidad del fruto mejoró notablemente.

**Plátano.** El experimento se llevó a cabo en Jamaica. La primera aplicación de extracto de algas se hizo cuando las plantas tenían seis meses de edad; la

segunda, seis meses después. El incremento en la cosecha fue de 22 % y fructificó más temprano.

**Maíz.** Para elote (sweet corn): El experimento se llevó a cabo en La Florida, USA. A los 45 días de sembrado (7.5 a 13 cm de altura de las plantas), se aplicó foliarmente y algo cayó al suelo, la segunda aplicación se hizo 20 días después. El incremento de cosecha fue de 56 %; las plantas tratadas, a la primera aplicación, incrementaron la altura 25 %, las hojas más anchas y más verdes.

**Naranja.** De 16 a 25 años de edad. El experimento se llevó a cabo en La Florida, USA. La aplicación de extracto de algas se hizo por el sistema de riego por aspersión por arriba de las plantas en marzo a abril de 1966, 1967, 1968, 1969, 1970 y 1971 y los incrementos fueron en porcentaje de 4.9, 5.5, 8.5, 5.9, 12.9, 12.1 y 12.4, respectivamente. Las naranjas de las plantas tratadas tuvieron mejor vida de anaquel que las del testigo.

**Tomate.** El experimento se llevó a cabo en La Florida, USA. Se estableció en camas cubiertas con plástico negro. El extracto de algas se aplicó al suelo en la cama y dos veces foliar. La producción se incrementó 20 %.

## LITERATURA CITADA

- Abetz, P., y C.L. Young. 1983. The effect of seaweed extract sprays derived from *Ascophyllum nodosum* on lettuce and cauliflower crops. Bot. Mar. 26: 487-492.
- Aitken, J.B. y T.L. Senn. 1965. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops. Bot. Mar. 8: 144-148.
- Blaine, M., W.J. Zimmerman, I. Crouch y J. van Staden. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. pp. 267-307. In: Akatuska I. Introduction to applied phycology. SPB Academic Publishing BV, The Hague, The Netherlands.
- Blunden, G. 1973. Effects of liquid seaweed extracts as fertilizers. Proc. Seventh International Seaweed Symposium. In ref. 3. School of Pharmacy, Polytechnic, Park Road, Portsmouth, Hants, England.
- Blunden, G., y P.B. Wildgoose. 1977. The effects of aqueous seaweed extract and kinetic on potato yields. J. Sci. Food Agric. 28: 121-125.
- Blunden, G., E.M. Jones y H.C. Passan. 1978. Effects of post-harvest treatment of fruit and vegetables with cytokinin-active seaweed extracts and kinetin solutions. Bot. Mar. 21: 237-240.
- Booth, E. 1966. Some properties of seaweed. Symp. 4: 349-357.
- Crouch, L. y J. van Staden. 1992. Evidence of the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. Department of Botany, University of Natal, Republic of South Africa. Ed. Kluwer Academic Publishing. The Netherlands.

- De Villiers, J., W.A.G. Kotze y M. Joubert. 1983. Effect of seaweed foliar sprays on fruit quality and mineral nutrition. *The Deciduous Fruit Grower* 33: 97-101.
- Featonby-Smith, B.C. y J. van Staden. 1987. Effect of seaweed concentrate on yield and seed quality of *Arachis hypogea*. *S. Afr. J. Bot.* 53: 190-193.
- Flores, F.G. 1997. Evaluación de extractos de algas marinas en el cultivo del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) cv. Imperial. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México.
- Fox, B.A. y A.G. Cameron. 1961. Food science, nutrition and health. Sixth Edition. Ed. Edward Arnold, a division of Hodder Headline PLC, London NW1 3BH.
- Herrera, A.J.A. 1995. Efecto de ALGAENZIMS<sup>MR</sup> en el desarrollo de trigo (*Triticum aestivum*), var. AN-Tongo 91, en la Comarca Lagunera. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México.
- Kluger, R. 1984. The mechanistic bases of enzyme catalist. Enzyme chemistry. Ed. Coling J. Sucking, Chapman and Hall, London, New York.
- López, D.A., R.M. Williams, K. Miehke y J. Mazana. 1995. Enzimas, fuente de vida. Fundación de Investigación Inmunológica (IERF), 1+822 Monticelo Place, Evanston, Illinois, USA. Ed. en español, Edika Med., S.L., Barcelona, España.
- Lynn, L.B. 1972. The chelating properties of seaweed extracts *Ascophyllum nodosum* vs. *Macrocystis pyrifera* on the mineral nutrition of sweet peppers *Capsicum annum*. MSc. Thesis, Clemson University, Clemson, South Carolina, USA.
- Martínez, L.J. y J. Salomon. 1995. Efecto de un extracto de algas y varios fitorreguladores sobre el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Gigant. Tesis doctoral. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Porter, M. 1965. Enzymes. Agricultural Research Service, USDA, Fort Collins, Colorado. pp. 1536-1539.
- Povolny, M. 1969. Investigations on the effectiveness of seaweed extract on yield and quality of pickling cucumbers. *Hort. Abstr.* 64: 857.
- Reyes R., D.M. 1993. Efecto de algas marinas y ácidos húmicos en un suelo arcilloso y otro arenoso. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México.
- Senn, T.L. 1987. Seaweed and plant growth. Traducido al Español por Benito Canales López. Crecimiento de alga y planta. Ed. Alpha Publishing Group, Houston, Texas, USA.
- Senn, T.L. y A.R. Kingman. 1978. Seaweed research in crop production. *Econ. Dev. Adm., US Dep. Commer., Washington.*
- Small, W.L. y E.R. Green. 1968. Biología. Editado en español por Publicaciones Culturales, S.A. de C.V., México, vigésima segunda edición.
- Soriano, G.F. 1993. Efecto de la aplicación de algas marinas en cultivo de chile (*Capsicum annum*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México.
- Stephenson, W.A. 1968. Seaweed in agriculture and horticulture. Faber and Faber, London.
- Stephenson, W.M. 1966. The effect of hydrolyzed seaweed on certain plant pest and diseases. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 5: 405-415.
- Talamás, H.E. 1998. Efecto de los extracto de algas marinas en la calidad y rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México.
- Tinajero, R.F. 1993. Aplicación de algas marinas y estiércol bovino en suelo arcilloso, en cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México.