

ISSN 0187 - 5779

TERRA

ABRIL - JUNIO DE 1998 • VOLUMEN 16 • NUMERO 2



Organo 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 Alvarez Sánchez
M.C. Ricardo Torres Cossío

M.C. Francisco Gavi Reyes
Biól. Rogello Oliver Guadarrama
M.C. Gaspar Romero Hernández

EDITOR EN JEFE
EDITOR ADJUNTO
EDITORES TECNICOS

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 Alvarez Sánchez
M.C. Jorge Alvarado López

EDITOR DE ESTILO

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.
Abril - Junio de 1998 Volumen 16 Número 2

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: +(595) 4 60 24 **Fax:** +(595) 4 80 76

EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

Ina Aalmers de Aguilar
Sofía Blancas Cando
Ricarda Torres Estrada
María Elena Aguilar Sánchez
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
M.C. 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

ABRIL - JUNIO DE 1998 • VOLUMEN 16 • NUMERO 2

TRABAJO INVITADO

- 93 Producción sostenible de alimentos de origen vegetal en el mundo.
Antonio Turrent Fernández y Rodolfo Moreno Dahme

DIVISION II

- 113 Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración.
Rubén Bugarín M., Gustavo A. Baca C., Jesús Martínez H., Juan L. Tirado T. y Angel Martínez G.
- 125 Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. II. Extracción nutrimental de hojas.
Rubén Bugarín M., Gustavo A. Baca C., Jesús Martínez H. y Juan L. Tirado T.
- 135 Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila.
Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza, Gabriel Alcántar González, Andrés Aguilar Santelises, Jorge D. Etchevers Barra y José A. Santizó Rincón
- 143 Efecto de la condición nutrimental de las plantas y de la composición, concentración y pH del fertilizante foliar, sobre el rendimiento y calidad en tomate.
Julio César Hidalgo González, Gabriel Alcántar González, Gustavo A. Baca Castillo, Prometeo Sánchez García y J. Alberto Escalante Estrada
- 149 Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos.
Vicente Lee Rodríguez, Manuel de Jesús Beltrán Fonseca, José Noé Lerma Molina y Lorena Patricia Licón Trillo

DIVISION III

163 Mineralización y distribución del nitrógeno a través de la zona radicular en dos sistemas de labranza bajo condiciones de campo.
E. Salazar Sosa, W. C. Lindemann, M. Cardenas E. y N. B. Christensen

173 Comparación entre la mineralización y la denitrificación potencial en dos sistemas de labranza bajo condiciones de laboratorio.
E. Salazar Sosa, W. C. Lindemann, G. Smith y M. Cardenas

ENSAYO

181 Conservación de suelos y desarrollo sustentable, ¿Utopía o posibilidad en México?
Antonio Becerra Moreno

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

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

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
M.C. José Cisneros Domínguez
Dr. Prometeo Sánchez García
Dr. Fernando de León González
Dra. Edna Alvarez 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 Alvarez 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 Advise

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
April - June, 1998 Volume 16 Num. 2

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: +(595) 4 60 24 Fax: +(595) 4 80 76

EDITORIAL STAFF

Cover design

Ina Aalmers de Aguilar
Sofía Blancas Cando
Ricarda Torres Estrada
María Elena Aguilar Sánchez
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
M.C. 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

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	U.S.A
Dr. Anthony Fischer	Australia
Dr. Juan F. Gallardo Lancho	Spain
Dr. Renato Grez Z.	Chile
Dr. Alberto Hernández	Cuba
Dr. José M. Hernández Moreno	Spain
Dr. Eric S. Jensen	Denmark
Dr. Walter Luzio Leighton	Chile
Dr. John T. Moraghan	U.S.A
Dr. Héctor J. M. Morrás	Argentina
Dr. Christian Prat	France
Dr. Parker F. Pratt	U.S.A.
Dr. Paul Quantin	France
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Carlos Roquero	Spain
Dr. Karl Stahr	Germany
Dr. Bernardo Van Raij	Brazil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brazil

TERRA

APRIL - JUNE, 1998 • VOLUME 16 • NUMBER 2

INVITATIONAL PAPER

- 93 Sustainable production of food from crops in the world.
Antonio Turrent Fernández and Rodolfo Moreno Dahme

DIVISION II

- 113 Ammonium/nitrate ratio and total ion concentration in the nutrient solution on chrysanthemum growth. I. Growth and flowering.
Rubén Bugarín M., Gustavo A. Baca C., Jesús Martínez H., Juan L. Tirado T., and Angel Martínez G.
- 125 Ammonium/nitrate ratio and total ion concentration in the nutrient solution on chrysanthemum growth. II. Nutrient uptake in leaves.
Rubén Bugarín M., Gustavo A. Baca C., Jesús Martínez H., and Juan L. Tirado T.
- 135 Estimation of nitrogen and chlorophyll status of tomato with a portable chlorophyll meter.
Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza, Gabriel Alcántar Gonzáles, Andrés Aguilar Santelises, Jorge D. Etchevers Barra, and José A. Santizó Rincón
- 143 Effect of the nutrient status of plants and the composition, concentration and pH of foliar fertilizer on yield and quality of tomato.
Julio César Hidalgo González, Gabriel Alcántar González, Gustavo A. Baca Castillo, Prometeo Sánchez García, and J. Alberto Escalante Estrada
- 149 Sulphuric acid application to the irrigation water corrects iron-chlorosis on calcareous soils.
Vicente Lee Rodríguez, Manuel de Jesús Beltrán Fonseca, José Noé Lerma Molina, and Lorena Patricia Licón Trillo

DIVISION III

163 Nitrogen mineralization and distribution through the root zone in two tillage systems under field conditions.

E. Salazar Sosa, W. C. Lindemann, M. Cardenas E., and N. B. Christensen

173 Comparison of nitrogen mineralization and denitrification under laboratory conditions between two tillage systems.

E. Salazar Sosa, W. C. Lindemann, G. Smith, and M. Cardenas

ESSAY

181 Soil conservation and sustainable development, Utopia or possibility in Mexico?

Antonio Becerra Moreno

PRODUCCION SOSTENIBLE DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL EN EL MUNDO

Sustainable Production of Food from Crops in the World

Antonio Turrent Fernández¹ y Rodolfo Moreno Dahme²

RESUMEN

Los agricultores del mundo cuentan con 1478 millones de hectáreas de labor para producir los alimentos de origen vegetal que demanda la población mundial, que en 1990 era de 5300 millones de habitantes. En 1990, se produjeron 4615 millones de toneladas brutas de alimentos que en su 82 % eran de origen vegetal. Esta producción habría permitido una dieta promedio mundial de 2350 kilocalorías diarias para una población superior en mil millones a la población de 1990, si tal dieta se basara principalmente en granos. Es aceptado que a partir de los años 60, el paradigma de la revolución verde (PRV) ha sido factor clave en la producción de alimentos en los países en desarrollo (PED). También es reconocido que la hazaña del aumento en la producción ha tenido como costo un serio deterioro del recurso tierra en los agroecosistemas más frágiles del planeta. En el próximo cuarto de siglo, la demanda de alimentos crecerá significativamente, particularmente en los PED, donde vivirá 78.6 % y 82.5 % de la población mundial en los años 2000 y 2025. En estos años, la población mundial alcanzará las cifras de 6228 y 8473 millones, respectivamente. Se requiere incrementar la producción anual de alimentos en 2600 millones de toneladas hacia el año 2025, para mantener el nivel de disponibilidad actual. Borlaug estima que se puede mantener la suficiencia alimentaria mundial si se aumenta en 12 % la superficie de labor y el rendimiento de los cultivos en 80 %. Se examina en este ensayo un marco agronómico de la producción agrícola en el que ésta se desglosa en los componentes de rendimiento, superficie de labor, índice de cultivo e índice de no-siniestro. Se examinan varios tipos de tecnología para aumentar la acción de cada

uno de estos componentes. En particular se resaltan las tecnologías para incrementar los índices de cultivo y de no-siniestro.

Palabras clave: Alimentos de origen vegetal; sostenibilidad, paradigma de la revolución verde, paradigma LEISA, tierra de labor y población mundial, componentes de la producción agrícola, índice de cultivo, índice de no-siniestro.

SUMMARY

Farmers of the world farm 1478 million hectares in order to feed the world. In year 1990, when world population was 5300 million, 4.6 billion metric tons of raw food were produced. Only 18 % of that food was obtained from animals. This level of production of food would have permitted a world daily diet of 2350 kilocalories for a world population of 6300 million (1 billion larger than actual), should the diet have been based primarily on direct consumption of grains. It is generally accepted that the paradigm of the green revolution (PGR) was the engine that drove this accomplishment of world farmers. However, it is also accepted that the ecological costs were substantial, particularly for the more fragile agroecosystems of the planet. In the next quarter of a century, demand of food will increase dramatically in developing countries (DC) for they will be the home 78.6 % of the world population by year 2000. In year 2025 when world population will climb to 8473 million, 82.5 % will live in DC. World food production will have to increase by 2600 million metric tons by year 2025 in order to maintain today's level of food availability. Borlaug estimates that joint increases of 12 % in farmable land and 80 % in crop yields are feasible means to accomplish food sufficiency in those years. An agronomic frame for agricultural production is examined in this essay. Agricultural production is disaggregated into its components, namely: crop yield, farmable land, cropping index and non-failure crop index. Several types of technologies that enhance these

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Profesor Colaborador del Colegio de Postgraduados.

² Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

elements are examined in this paper; particularly those in relation to the cropping index and the non-failure crop index.

Index words: Vegetable based foodstuffs, sustainability, paradigm of the green revolution, LEISA 'S paradigm, arable land and world population, components of agricultural production, cropping index, non-failure crop index.

INTRODUCCION

La producción sostenible de alimentos de origen vegetal requiere de la existencia de sistemas agrícolas que puedan evolucionar hacia un mayor aprovechamiento humano y, a la vez, tengan una mejor eficiencia en el uso de los recursos disponibles, así como, que permitan el establecimiento de un equilibrio con el ambiente, que sea favorable, tanto a los humanos, como a la mayoría de las otras especies existentes en diversos ecosistemas.

Los agricultores del mundo cuentan con 1478 millones de hectáreas de tierra de labor para producir los alimentos que demanda la población mundial, que en 1990 era de casi 5300 millones de habitantes (World Resources Institute (WRI), 1993). En la actualidad, los alimentos han de producirse a partir de 0.28 ha de labor *per capita*. Esta responsabilidad ha sido afortunadamente encarada por los agricultores del mundo, hasta ahora. Mitchell e Ingco (1992) señalan como logros recientes de los agricultores del mundo: (1) desde 1950, la producción de cereales aumentó, casi exclusivamente vía el aumento en los rendimientos, a la tasa de 2.7 % anual, en tanto que la población lo hacía a 1.9 % anual, a escala mundial; (2) los precios reales de los productos agrícolas son en la actualidad los más bajos de la historia; (3) los incrementos en los rendimientos y en la producción agrícola han hecho posible que el consumo *per capita* en los países en desarrollo aumentara en 27 % desde 1960; como resultado, entre 1961-1963 y 1987-1989, las disponibilidades de alimentos *per capita* aumentaron desde 1725 a 2394 kilocalorías por día en el este de Asia y en la región del Pacífico; desde 1970 a 2194 en el sur de Asia, y desde 2370 hasta 2725 kilocalorías en América Latina. En cambio, en el África al sur del Sahara, el crecimiento de la población aumentó a 3 % mientras la producción de alimentos aumentó sólo a 2 % en el mismo periodo.

La producción de alimentos en 1990 fue de 4615 millones de toneladas brutas, de las cuales tan sólo 850 millones de ton, fueron de origen animal y tal disponibilidad de alimentos habría permitido una dieta promedio mundial de 2350 kilocalorías diarias para una población superior en 1000 millones de habitantes a la población de 1990, si tal dieta se basara principalmente en granos (Borlaug y Dowsell, 1994).

Sin embargo, la inequidad en el acceso de la población del mundo a los alimentos, es causa de que mil millones de personas sufran hambre en la actualidad. Sin duda, los asalariados del campo son la fracción más vulnerable de la sociedad. La tarea de producir alimentos suficientes para la humanidad, es tan solo una parte de la tarea total y no menos importante y compleja es la de distribuirla con equidad (Bullock, 1994). En este artículo, sólo se intenta hacer algunos señalamientos pertinentes al componente de la producción sostenible de alimentos de origen vegetal, sin dejar de reconocer el carácter necesario de la distribución equitativa de lo producido.

Se estima que la población del mundo alcanzará las cifras de 6228, 7150, y 8473 millones de habitantes en los años 2000, 2010 y 2025, respectivamente (FAO, 1993a). En los países que actualmente se clasifican como países en desarrollo (PED), vivirán 78.6 %, 80.3 % y 82.5% de aquellas cifras de población. Los agricultores de los PED cuentan con 51.2 % de la tierra de labor actual del mundo y producen la mitad del monto total de cereales, no han logrado su autosuficiencia alimentaria. Estos han dependido de la producción de los agricultores de los países desarrollados (PD), para complementar sus demandas de alimentos, incluyendo la de cereales, en las tres últimas décadas. Es válido hacerse la pregunta de si podrán los agricultores del mundo, y particularmente los de los PED, sostener un ritmo de crecimiento de la producción de alimentos, conmensurable con los incrementos en la población mundial. También es igualmente válido preguntarse si sería o no posible realizar esta tarea, sin causar grandes trastornos ecológicos.

LOS LOGROS Y LOS COSTOS

Hay consenso en la comunidad científica internacional de que, los logros de los agricultores del tercer mundo, en cuanto a la producción de alimentos, tuvieron como base al éxito de agrónomos visionarios

que pudieron concentrar en el trigo y en el arroz, principales cereales alimenticios del mundo, los genes responsables de: (1) mayor rendimiento; (2) mayor resistencia a las enfermedades prevalentes y al "acame"; y (3) un amplio radio geográfico de adaptación. De este logro científico se derivó una estrategia sencilla y poderosa dirigida a las mejores tierras de labor y/o con riego, en los países en desarrollo, que ahora se conoce como la Revolución Verde.

Descontando la concentración del conocimiento científico, que reclamó la creación de las nuevas variedades, poca era la demanda de conocimiento científico adicional, para lograr que la nueva estrategia funcionara bien, si se cumplía con la restricción de buena calidad de la tierra de labor; esto es, si el suelo y el clima eran favorables a la alta producción, o bien, si se disponía de agua de riego. Pequeña era la barrera que representaba para el éxito en estas condiciones, la variación en tipo de suelo y/o de manejo agronómico intra e interunidad de producción agrícola; es decir que la estrategia era en buena medida, de "gran visión". Las tecnologías derivadas incluían el uso de: (a) las variedades mejoradas; y (b) mayores dosis de fertilizantes, pesticidas y densidades de población de plantas.

Como puede apreciarse, esta estrategia era exclusivamente "pro-producción de plazo corto", y excluía el tratamiento de la agronomía clásica, dedicado a: (1) el cuidado del contenido de materia orgánica del suelo; (2) la protección contra la erosión; (3) la rotación de cultivos; (4) los recursos de la dosificación racional de fertilizantes, pesticidas; (5) otros. En fin, que todo lo que excluía la estrategia, habría implicado una densidad de conocimiento científico, con el que no contaban los países en desarrollo, en esos años cincuenta. La estrategia fue rápidamente adaptada a otros cultivos alimenticios, y tuvo éxito, cuando se aplicó en tierras que cumplían el requisito de la buena calidad agrícola.

La aplicación que los agricultores de gran parte del mundo en desarrollo hicieron del conocimiento agronómico disponible, fue sin duda el motor central de los avances en la producción de alimentos. Ahora sabemos, sin embargo, que los agricultores no tuvieron el mismo nivel de éxito en cuanto a la preservación de los recursos naturales. Sabemos que: (1) la erosión está destruyendo al suelo mucho más rápido que la velocidad en la que se forma, por lo menos en la

tercera parte de las tierras de labor del mundo; (2) la desertificación amenaza los márgenes de las tierras áridas y semiáridas, donde viven cerca de 850 millones de personas; y (3) la mitad de las 240 millones de ha de labor actualmente bajo riego, sufren algún grado de ensaltramiento con pérdida parcial de su potencial productivo (Miller y Wali, 1994).

Es válida la preocupación pública por los procesos de contaminación en acuíferos subterráneos y la contaminación y la eutrofización en cuerpos de agua superficiales, que se asocian con la actividad agrícola en los países industriales y en las regiones de mayor actividad agrícola de los países en desarrollo. La acción misma del cambio a uso agrícola de 1200 millones de hectáreas en los últimos tres siglos, redujo irreversiblemente la diversidad genética, patrimonio del mundo (Richards, 1990). Finalmente, la actividad agrícola no es ajena a la acumulación de gases termoactivos en el efecto de invernadero: CO₂, CH₄, y N₂O, y al cambio en el albedo.

En la década de los años 80, se acuñó el término "sostenibilidad", que adquirió rápidamente carta de naturalización dentro de las comunidades científica y política mundiales, y legitimándose como paradigma del desarrollo ecológico y económico (Miller y Wali, 1994). La conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992, llamó la atención del mundo sobre el daño que los procesos de desarrollo humano han tenido y tienen sobre la capacidad del planeta Tierra para sostener la vida. Se produjo la Agenda 21, que es la guía de acciones alrededor de siete temas para la protección del ambiente. Uno de los siete temas compete al uso eficiente de los recursos naturales: tierra, agua, energía y biota, y se identificaron quince tópicos centrales que han de ser atendidos para asegurar el uso racional del recurso tierra, así como algunas barreras para abordar los mismos tópicos a su escala global (Eswaran y Funes, 1994). De ejercicios como éste, habrán de derivarse parámetros que ayuden a guiar el uso futuro de los recursos naturales. La producción de alimentos que satisfaga la demanda derivada del crecimiento de la población mundial, tendrá que converger hacia las normas de la sostenibilidad, si es que el planeta Tierra ha de retener su capacidad para sostener la vida.

Con las preocupaciones por la sostenibilidad y la preservación de la diversidad genética del mundo, la comunidad científica y la política debaten sobre el

justo camino para asegurar la alimentación de la humanidad. Esto es particularmente sensato, porque como lo sostiene una parte de la comunidad agronómica, hay muchas tierras de labor de buena calidad en los países en desarrollo que pueden aún beneficiarse con el paradigma de la Revolución Verde. Tal sería particularmente cierto para todos los países de bajos ingresos y deficitarios en su producción de alimentos, así como para los países del antiguo bloque soviético (Borlaug y Dowswell, 1994).

En oposición a este paradigma, está el paradigma de la producción de alimentos con Sistemas de Agricultura Sostenible con Bajo Uso de Insumos Externos (ASBIE), o sea (Low External Input and Sustainable Agriculture-LEISA) (Reintjes *et al.*, 1992).

También ha de resaltarse una tercera posición que postula la reforma del paradigma de la Revolución Verde para acomodar la experiencia agronómica reciente, particularmente en relación con los suelos frágiles del trópico húmedo del mundo, tales como: (1) la agroforestería para el combate de la erosión y la recirculación de nutrimentos vegetales (Grimshaw, 1993; Kass *et al.*, 1993; Turrent *et al.*, 1995a); (2) los genes de adaptación de varios cultivos básicos a la tensión ambiental derivada de la acidez del suelo, de la toxicidad de altos niveles de aluminio y manganeso, y del bajo contenido de fósforo y de cationes intercambiables (Hanson y Cassman, 1994; Sanchez, 1994; Zeigler *et al.*, 1994); (3) la integración agropecuaria (Van Diest, 1994; Turrent *et al.* 1994a); finalmente, parecería inevitable la presión para el

cambio del uso actual no agrícola del suelo, que se derivará de la demanda futura de alimentos: La disponibilidad de tierra de labor *per capita* disminuirá desde 0.279 ha en 1990 hasta 0.239 ha en 2000, a 0.207 en 2010 y a 0.174 ha en 2025. Para retener la disponibilidad actual de tierra de labor hasta el año 2010, se requeriría ampliar la frontera agrícola actual en unos 517 millones de ha, en los próximos 20 años. Sin embargo, esta demanda podría ser atemperada y hasta anulada por el aumento en la productividad de la tierra, tal y como lo muestran Borlaug y Dowswell (1994) para las Repúblicas de China e India.

Esta coyuntura hace pertinente el análisis sobre el paradigma que ha de guiar la producción de alimentos en los próximos 30 años. Como en el pasado reciente, vuelve a ser toral el papel de la comunidad agronómica para ampliar las fronteras del conocimiento científico y para apoyar a los agricultores del mundo, en su tarea de producir los alimentos que reclama la humanidad.

En el Cuadro 1 se muestra la disponibilidad de tierra en varios usos actuales, en varias regiones el mundo (WRI, 1993). La disponibilidad total de tierras para el mundo es de 13128.8 millones de hectáreas, que equivalió a 2.481 ha *per capita* para la población de 1990, y que evolucionará a 1.544 ha *per capita* hacia el año 2025. Además, de las 1477.9 millones de hectáreas de tierras de labor, hay 3322.9 millones de hectáreas dedicadas al pastoreo, 4095.3 millones de hectáreas de macizos arbolados, y 4232.74 millones de hectáreas bajo otros usos; dentro de las 11 650.96 millones de hectáreas que no tienen uso agrícola, hay 3486.10 millones que se consideran silvestres.

Cuadro 1. Uso actual del recurso tierra en siete regiones del mundo.

Región	Tierra total		Laboreo	Tierra en varios usos†			
	Per capita	Total		Agostadero	Macizos arbolados	Otros	Area silvestre
	ha			millones de hectáreas			
Mundo	2.481	13 128.84	1477.88	3322.94	4095.32	4232.74	3486.10
Africa	4.608	2964.13	186.39	890.90	686.28	1200.51	823.24
Norte y Centroamérica	5.435	2137.70	273.82	368.33	715.42	779.84	907.74
América del Sur	5.917	1752.93	141.53	477.86	895.69	237.78	374.60
Asia	0.877	2731.23	454.46	694.25	538.86	1043.67	377.59
Europa	0.949	472.95	140.41	83.18	156.85	92.52	13.86
ExURSS	7.692	2227.20	231.87	371.50	945.00	678.83	752.02
Oceanía	32.258	842.70	49.36	436.62	157.22	199.52	237.06

† Tierra de agostadero incluye pastizal, acahual y otra vegetación baja sujeta a pastoreo; la suma de tierras de laboreo, agostadero macizos arbolados y otros usos equivalen al total. La categoría de silvestre incluye partes de las tierras bajo usos no agrícola ni de agostadero.

Fuente: World Research Institute (WRI). 1993.

Setenta y nueve por ciento del área ocupada por los macizos arbolados del mundo y 82 % de las áreas silvestres están en los continentes americano, africano y en la ex-URSS.

FAO (1993) informa que la reserva de tierras con potencial para uso agrícola en los países en desarrollo, abarca parte del último reducto de los ecosistemas más ricos en la diversidad genética del mundo (en gran medida inexplorada), que ha de ser protegida a toda costa. En el Cuadro 2 se presenta la estimación de la reserva de tierras con aptitud para uso agrícola en 93 de los países en desarrollo, según la misma fuente. También se presenta la estimación de la superficie que habría cambiado efectivamente a un uso agrícola hacia el año 2010, según FAO (1993).

De 2572 millones de ha técnicamente aptas para el cultivo, según lo define la FAO, ya se cultivan hasta 757 millones. Sin embargo, no toda la superficie bajo cultivo es técnicamente apta, y se espera que hacia 2010, se añadan otras 93 millones de hectáreas, lo que dejaría un remanente de 1722 millones de hectáreas. La misma fuente muestra el balance de tierras para Asia Meridional y América del Sur tropical, en el que hay 1091.7 millones de ha técnicamente aptas para el cultivo, tiene actualmente 315.9 millones en ese uso; del resto, 510.5 millones de ha están ocupadas por macizos arbolados; 24.3 por asentamientos humanos y por infraestructura; y 97.2 millones de hectáreas por áreas protegidas. Parte del residuo de 143.7 millones de hectáreas, podría ser incorporado al uso agrícola.

Es reconocido que los suelos de gran parte de las tierras técnicamente cultivables de los PED,

Cuadro 2. Tierras aptas para el cultivo, tierras actuales de labor y proyección para el año 2010, en 93 países en desarrollo (excluida China) y en el mundo.

Región	Tierras aptas	Tierra de labor		Resto
	para cultivo	1990	2010	2010
	----- millones de ha -----			
Mundo	nd†	1478	1571	nd
93 PED‡	2572	757	850	1722
ASS	1009	212	255	754
CONA	92	77	80	12
AO	153	77	88	65
AM	260	201	210	50
AL&C	1059	189	217	842

† nd significa que la información no está disponible.

‡ PED significa países en desarrollo. ASS es África Subsahariana, incluye 39 países; CONA es Cercano Oriente y Norte de África, incluye 14 países; AO es Asia Oriental, con 10 países; AM es Asia Meridional con seis países; AL&C es América Latina y el Caribe, con 24 países.

Fuente: FAO (1993).

particularmente los del África Subsahariana y de América Latina, encierran retos a la agricultura derivados de su natural infertilidad. Tal es el caso de los Oxisoles y los Ultisoles, que cubren 42 % de esa superficie. Son suelos lixiviados como producto de su pedogénesis, normalmente ácidos en todo su perfil, que pueden reunir de una a todas las siguientes deficiencias: (a) bajo contenido total de fósforo, que además está fijado en formas difícilmente asimilables para las plantas; (b) bajo contenido de bases intercambiables, (potasio, calcio, magnesio, sodio); (c) elevada saturación de aluminio intercambiable; y (d) deficiencia de microelementos (Hanson y Cassman, 1994). El ecosistema conocido como "Campo Cerrado" de Brasil, que cubre 175 millones de hectáreas de savana, tiene unas 112 millones potencialmente cultivables, de las cuales apenas unas 9.5 millones de ha han sido acondicionadas para uso agrícola; en esta tierra se produce 25 % de la cosecha total de frijol soya, de arroz y de maíz, y 12 % del frijol del país. El aprovechamiento racional de una mayor parte de este ecosistema en agricultura y ganadería podría, según Borlaug y Dowswell (1994), aliviar la actual presión sobre los recursos naturales de la Amazonia Brasileña, cuyo desenlace tan justificadamente preocupa a la humanidad.

LA TAREA DEL FUTURO

La FAO (1993b) destaca que si bien la humanidad como todo, mantiene la autosuficiencia en los cereales que requiere para su alimentación y para varios otros usos, los países en desarrollo han dependido de manera creciente de los países desarrollados para complementar sus demandas de cereales en las últimas tres décadas. Tal dependencia fue, de 4.2 % en 1969/1971; de 10.2 % en 1979/1981; y de 10.6 % en 1988/1990. En el Cuadro 3 se presenta la producción y el comercio neto de todos los cereales en varias regiones del mundo. En el Cuadro 4 se muestra el suministro alimentario en términos de ingesta calórica y de consumo humano directo de todos los cereales. Se aprecia en este cuadro, que el África Subsahariana muestra una reducción creciente en la ingesta calórica desde el trienio 1969/1971, y que la región América Latina y el Caribe muestra por lo menos un estancamiento a partir del trienio 1979/1981, mientras el resto de las regiones del mundo disfruta de una clara mejoría en su ingesta calórica, en el periodo de estudio.

Cuadro 3. Producción, comercio neto y consumo como alimento de todos los cereales en las últimas tres décadas, en varias regiones del mundo.

Región†	Producción‡			Comercio neto§			Consumo como alimento
	1969/1971	1979/1981	1988/1990	1969/1971	1979/1981	1988/1990	
	----- millones de t -----						%
Mundo	1129.1	1456.7	1697.5	2.14	2.60	2.62	50
PED	482.4	652.3	847.4	-20.40	-66.80	-89.90	72
ASS	36.5	40.8	54.3	-2.50	-7.80	-7.70	86
CONA	45.8	57.9	73.3	-6.30	-22.90	-37.90	57
AO	210.5	307.4	409.1	-6.60	-19.40	-20.10	73
AM	121.2	156.3	209.3	-4.80	-1.10	-4.60	88
AL&C	65.9	87.2	98.6	3.48	-8.10	-10.10	50
Resto PED	2.5	2.7	2.3				
PD	646.7	804.3	850.1	22.50	69.40	92.60	23

† PED es países en desarrollo; ASS es África Subsahariana, 39 países; CONA es Cercano Oriente y Norte de África, 14 países; AO es Asia Oriental, 10 países; AM es Asia Meridional, 6 países; AL&C es América Latina y Caribe, 24 países; PD es países desarrollados.

‡ Incluye trigo, arroz pulido, maíz, cebada, sorgo, mijo y otros cereales.

§ el signo negativo implica importación neta.

Fuente: FAO (1993).

Se han hecho predicciones de las necesidades futuras de alimentos, que se basan en los aumentos esperados en la población del mundo (Crosson, 1991; FAO, 1993a; Grove y Edwards, 1993). Se estima que, si el consumo *per capita* mundial permaneciera al mismo nivel de 1990, se requerirían 2600 millones de toneladas brutas adicionales de productos alimenticios, equivalentes a 1350 millones de t de materia seca comestible, para satisfacer la demanda mundial del año 2025, o sea un incremento de 57 % respecto a lo producido en 1990. Si como es de desearse, la población que sufre hambre mejorara su dieta en el mismo periodo, la demanda mundial de alimentos podría duplicarse para el año 2025.

En el Cuadro 5, se presenta la estimación de la producción mundial de cereales requerida para los años 2000 y 2025 según los incrementos esperados en la

población y en la demanda *per capita* de alimentos (Borlaug y Dowsell, 1994). También se presentan los incrementos en los rendimientos que serían necesarios para satisfacer tales demandas, aparentemente bajo las suposiciones de: (a) un aumento del orden de magnitud de 12 % en la superficie dedicada a los cereales hacia el año 2025 respecto de 1990; y (b) sin que cambie el nivel actual de pérdidas postcosecha, que probablemente se ubican entre 5 y 10 % de la materia seca. La demanda mundial de cereales proyectada para el año 2025, representa aproximadamente 101 % de incremento respecto a la producción mundial de cereales de 1990. La combinación de un incremento de 12 % en la superficie destinada a los cereales y de 80 % en el rendimiento agregado, permitiría mantener la suficiencia mundial en los cereales. Los mismos autores proponen que el paradigma de la

Cuadro 4. Suministro alimentario promedio *per capita* para consumo humano directo, en varias regiones del mundo.

Región†	Ingesta energética				Consumo humano directo de cereales			
	1961/1963	1969/1971	1979/1981	1988/1990	1961/1963	1969/1971	1979/1981	1988/1990
	----- promedio (K cal día ⁻¹) -----				----- kg año ⁻¹ -----			
Mundo	2288	2434	2579	2697	139	146	157	164
PED	1945	2122	2327	2474	131	145	161	170
ASS	2120	2138	2120	2098	120	115	113	114
CONA	2208	2384	2833	3010	171	183	204	213
AO	1729	2020	2342	2600	126	151	181	201
AM	1967	2041	2098	2224	139	149	154	158
AL&C	2364	2503	2694	2689	115	119	128	129
PD	3032	3195	3287	3404	157	149	145	146‡

† PED es países en desarrollo; ASS es África Subsahariana, 39 países; CONA es Cercano Oriente y Norte de África, 14 países; AO es Asia Oriental, 10 países; AM es Asia Meridional, seis países; AL&C es América Latina y el Caribe, 24 países; PD es países desarrollados.

‡ El decrecimiento observado en el consumo humano directo de cereales en los países desarrollados refleja aparentemente, el cambio de hábitos alimenticios.

Fuente: FAO (1993).

Cuadro 5. Producción y rendimientos actuales y proyecciones al año 2025 para el mundo, y demanda esperada de seis cereales.

Cereal	Producción actual		Proyecciones de demanda		Rendimiento		
	1990	2000	2000	2025	Actual 1990	Requerido 2000	Requerido 2025
	----- millones de t -----				----- t ha ⁻¹ -----		
Trigo	600	740	1200	1200	2.4	2.8	4.4
Arroz	520	640	1030	1030	2.4	3.1	5.3
Maíz	480	620	1070	1070	3.7	4.1	5.8
Cebada	180	220	350	350	2.3	2.7	4.1
Sorgo-mijo	85	110	180	180	1.5	1.8	2.6
Todos	1970	2450	3970	3970	2.5	2.9	4.5

Fuente: Borlaug y Dowswell (1994).

Revolución Verde sigue siendo fundamentalmente válido para aumentar la producción de muchos países y señalan, además, que existen posibilidades de ampliación de la frontera agrícola en varias regiones tropicales del mundo.

FAO (1993a) hace predicciones sobre los aumentos de la producción de alimentos, de su demanda, de los rendimientos y del comercio entre los países desarrollados y países en desarrollo, para el año 2010. En el Cuadro 6 se presentan las proyecciones de las superficies, de los rendimientos y de la producción de todos los cereales en el año 2010, para los países en desarrollo. Esta fuente pronostica aumentos agregados de 58.6 % en la producción, de 17.5 % en la superficie y de 34 % en los rendimientos, para todos los cereales. En el Cuadro 7 se presenta la proyección de la producción y del comercio de todos los cereales para el año 2010, y se proyecta la producción mundial de 2342 millones de toneladas de todos los cereales. Cincuenta y seis por ciento de tal producción sería contribuida por los países en desarrollo y el resto por los países desarrollados. Se estima que los primeros tendrían que complementar 11 % de su demanda de cereales, con la producción de los segundos.

Cuadro 6. Proyección de las superficies, rendimientos y producción de todos los cereales en el año 2010, en todos los países en desarrollo (PED), excepto China.

Cereales	Producción		Superficies		Rendimientos	
	1988/1990	2010	1988/1990	2010	1988/1990	2010
	- millones de t -		- ha -		- t ha ⁻¹ -	
Trigo	136	205	70	77	1.94	2.66
Arroz palay	303	459	109	120	2.78	3.81
Maíz	112	196	63	80	1.79	2.47
Otros	85	134	90	111	0.94	1.21
Todos	531	842	331	389	1.50	2.16

Fuente: FAO (1993).

Describiremos a continuación el posible aporte de la comunidad agronómica, que podría hacer factible el logro de los incrementos en los rendimientos que requiere la humanidad para el futuro cercano, buscando acotar el cambio de uso de la tierra ocupada por ecosistemas todavía inalterados por el hombre.

MARCO AGRONOMICO

Como todo sistema, el sector agrícola del mundo tiene dos dimensiones básicas, la de capacidad y la de intensidad. La ecuación siguiente podría representar la dimensión de capacidad del sistema y sus componentes:

$$SL \times IC \times INS = SC \quad (1)$$

donde: "SL" y "SC" son las superficies de labor y cosechada por año.

Cuadro 7. Proyección al año 2010 de la producción y el comercio, de todos los cereales en el mundo.

	Países desarrollados			Países en desarrollo	Total mundial
	EO y exURSS†	Resto	Total		
	----- millones de toneladas -----				
Producción					
1988/1990	285	565.6	851	847	1698
2010	315	713	1028	1314	2342
Utilización interna					
1988/1990	320	470.5	791	931	1722
2010	313	553	866	1476	2342
Comercio neto					
1988/1990	-36.4	128.9	92.5	-90	
2010	2.5	159	162	-162	

† EO y exURSS es Europa Oriental más ex-URSS.

Fuente: FAO (1993).

El índice de cultivo (IC) representa al número de cultivos (siembra a cosecha) que se obtienen de una hectárea de labor en 365 días. El IC vale cero, si la tierra permanece baldía los 365 días; vale uno si se siembra y cosecha una vez al año; vale dos o tres si respectivamente se siembra y cosecha dos o tres veces al año. Bajo una rotación de "año y vez" de un solo cultivo, el valor promedio de IC es de 0.5; o bien 1.5 para un patrón de tres cultivos en dos años (Andrews y Kassam 1976; FAO, 1993a).

El índice de no-siniestro (INS) es el complemento de la frecuencia con que se "pierde" una hectárea sembrada, debido a eventos severos climatológicos que impiden que el cultivo concluya su ciclo de desarrollo. La sequía, el granizo, las heladas tempranas y tardías, los vendavales y las inundaciones, son principales causas de siniestro. (Para ciertas regiones podría haber otros agentes abióticos o bióticos causales de siniestros). El índice de no-siniestro, mide la fracción de los años en que el agricultor "logra" alguna cosecha, no importando su magnitud. El valor del INS varía entre cero y la unidad.

La Ecuación 1 es una medida de la capacidad de la unidad de producción, que depende de: (a) la disponibilidad del recurso tierra de labor; (b) la calidad del recurso clima, en términos de la longitud del periodo de crecimiento, y de la frecuencia de eventos de tipo catastrófico; y (c) algunas características de la unidad de producción y de la tecnología utilizada (disponibilidad y productividad de su mano de obra, fuente de potencia y grado y tipo de equipamiento, longitud de ciclo de desarrollo del germoplasma vegetal, etc.). La Ecuación 1 mide la capacidad mas no la intensidad de la producción.

La intensidad de la producción o productividad de los factores depende de la interacción entre: (a) los factores controlables por el productor (prácticas de

producción, que reflejan la intensidad en el uso de capital de plazo corto y de mano de obra); y (b) los factores incontrolables de la producción tales como las características del suelo y del clima, etc.). Frecuentemente se usa el rendimiento por hectárea cosechada como una medida de la intensidad de la producción. Para mantener la congruencia con la Ecuación 1, la dimensión de la intensidad ha de ser expresada con relación al recurso que efectivamente fue cosechado. Si el rendimiento por hectárea es la expresión de la intensidad, ha de ser sobre la base de las hectáreas cosechadas y no de las hectáreas sembradas. Si se suprime el índice de no-siniestro de la Ecuación 1 entonces el rendimiento habría de expresarse sobre la base de las hectáreas sembradas, y no de las cosechadas. El concepto productividad total de los factores (total factor productivity) señalado por Hanson y Cassman (1994), es también una medida de la intensidad del sistema.

La Ecuación 1 puede usarse al nivel de unidad de producción, del país, o del mundo. Examinaremos a manera de ejemplo la evolución de la dimensión de capacidad del sector agrícola de México en el periodo de 1960 a 1985 (Cuadro 8). La superficie cosechada de 94 cultivos varió desde 10.59 millones de hectáreas hasta 20.39, no obstante, que la superficie de labor fue casi invariante, con el orden de magnitud de 23.8 millones de ha. La variación en la superficie cosechada, se debió a los dominios de los índices IC y INS; (0.5843 a 0.9709) y (0.7660 a 0.9411), respectivamente (Turrent, 1993). En la Figura 1 se puede apreciar la tendencia lineal al incremento de IC en el periodo considerado. La ecuación de regresión ajustada es significativa al 5 %, explicando 73 % de la variación en IC observada. En cambio, no parece haber tendencia sistemática alguna en el caso de INS.

Cuadro 8. Superficies de labor, superficies sembradas y cosechadas con 94 cultivos, e índices de cultivo y de no-siniestro entre 1960 y 1985, en México.

Año	Superficies			Índices†	
	Labor	Sembradas	Cosechadas	IC	INS
	----- miles de ha -----				
1960	23 816.9	13 057.8	11 364.5	0.5483	0.8703
1970	23 138.4	13 827.9	10 591.7	0.5976	0.7660
1980	23 816.9	18 928.9	16 965.6	0.7948	0.8963
1981	23 816.9	23 123.2	20 390.0	0.9709	0.8818
1985	23 816.9	20 172.3	18 984.2	0.8470	0.9411
Promedio				0.7517	0.8711

† IC es índice de cultivo; INS es el índice de no-siniestro.

Fuente: Turrent (1993).

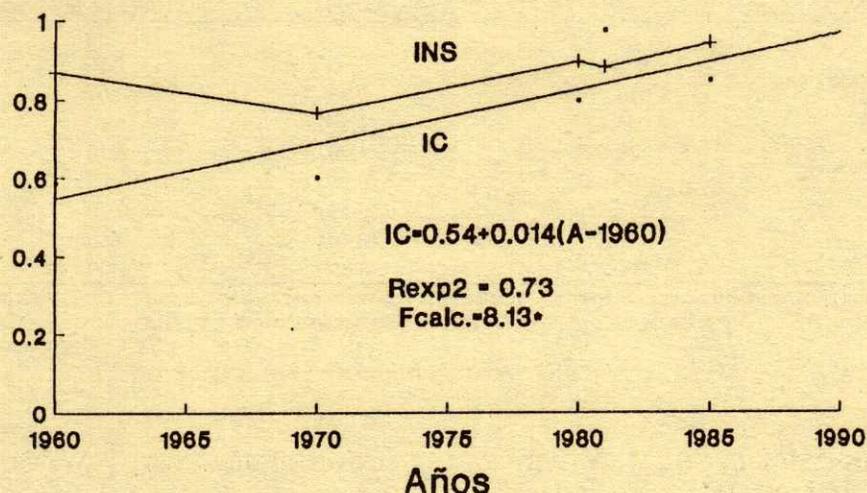


Figura 1. Índices de cultivo (IC) y de no-siniestro (INS) en México.
En el periodo 1960-1985 hubo avance sistemático en el IC pero no lo hubo en el INS.

El incremento en IC detectado para el sistema de producción agrícola de México, podría ser la respuesta a los planes de fomento del sector público.

La utilidad de separar los componentes de la dimensión de capacidad del sistema de acuerdo con la Ecuación 1, reside en que permite identificar oportunidades adicionales para aumentar la producción total del sistema. En el Cuadro 9, se muestran los índices de cultivo actuales de México, así como una apreciación de su evolución posible (Turrent, 1993). Esta evolución requeriría un plan explícito de intensificación del uso de la tierra en el país, con maduración a plazo largo. La capacidad del sistema agrícola de México podría aumentar en casi 7.5 millones de hectáreas cosechadas, sin cambiar la superficie actual de tierras de labor, si: (a) el valor agregado de IC llegara a ser de 1.23; y (b) si el valor del INS se mantuviera constante en 0.85. Turrent (1993) sugiere la necesidad de acciones en materia de desarrollos tecnológicos agronómicos y de adaptaciones estructurales dentro de una fracción de las unidades de producción de México, consistentes con el avance en el IC agregado del país.

FAO (1993a) señala que la superficie de labor de los países en desarrollo (excluyendo a China), es de 760 millones de hectáreas, de las que se cosechan

anualmente 600 millones de hectáreas. Esta fuente proporciona los valores del IC para varias regiones, así como sus proyecciones para el año 2010, que se presentan en el Cuadro 10. El IC actual del Africa Subsahariana es impresionantemente bajo. El valor 0.55 indicaría que en promedio, sólo 55 % de los 212 millones de ha de labor de 39 naciones (Cuadro 2) es sembrado una vez cada año. La máxima intensidad de cultivo observada (excluida China) es de 1.10, y corresponde en conjunto a seis países del Asia Meridional. El valor agregado del IC es 0.79 para el conjunto de países en desarrollo. Las proyecciones son de que aumente el valor agregado del IC para estos países hasta 0.85; se espera que los valores extremos sean de 0.62 para Africa Subsahariana y de 1.19 para el Asia Meridional, hacia el año 2010. La fuente no proporciona valores para el índice de no-siniestro.

Mientras la disponibilidad de tierras de labor *per capita* era de 0.279 hectáreas para el mundo en 1990, según se señala anteriormente, aquella se desagregaba en 0.634 para los países desarrollados y 0.184 para los países en desarrollo. El valor de la superficie cosechada *per capita* para los PED fue de 0.122 hectáreas en 1990, si se usa el IC de 0.79 señalado por FAO y se usa como INS el valor 0.85 observado en México (Turrent, 1993).

Cuadro 9. Índices de cultivo actuales, intermedios y altos, relacionados con seis provincias agronómicas de la tierra de labor de México.

Provincia agronómica†	Superficie de labor ha	Índices de cultivo‡		
		Actuales	Intermedios	Altos
1. Riego	5 803 113	0.94	1.10	1.50
2. Temporal	18 013 796	0.83	0.97	1.15
2.1 MBP	3 605 822	(1.10)	1.10	1.33
2.2 BP	2 328 643	(1.20)	1.30	1.67
2.3 MP	6 165 942	(0.90)	1.00	1.12
2.4 bP	3 263 740	(0.50)	0.70	0.90
2.5 tm	2 649 649	(0.40)	0.60	0.80
Total nacional	23 816 909	0.86	1.00	1.23

† MBP es provincia agronómica (PA) de muy buena productividad (con relación precipitación:evaporación P/E entre 0.9 y 2, y suelos de más de 1 m de espesor); BP es PA de buena productividad (P/E > 2); MP es PA de mediana productividad; bP es baja productividad, y tm tierras marginales (P/E < 0.5, y suelos de menos de 1 m de espesor).

‡ En la columna de índices actuales, los valores entre paréntesis fueron estimados numéricamente, y los demás observados.

Fuente: Turrent (1993).

TECNOLOGIAS PARA INCREMENTAR EL IC Y EL INS

La comunidad agronómica ha dejado establecida la importancia de la intensidad en el uso de la tierra como factor de la producción agrícola (ASA, 1976). El tema del índice de no-siniestro ha sido también reconocido, si bien sólo de manera implícita. A la comunidad agronómica asiática, corresponde el mérito de haber formulado y desarrollado proyectos que incluyen explícitamente entre sus objetivos, a la ampliación de la capacidad del sistema agrícola, a través del componente IC. Ejemplos son los proyectos: (1) "Manejo de las Cuatro Aguas" de China; y (2) el Proyecto Nacional para el Desarrollo de Cuencas bajo Temporal de la India. El primer proyecto se ha desarrollado en la Estación Experimental de Nanpi, provincia de Hebei; para el reordenamiento del uso de "las Cuatro Aguas": el agua superficial; la del subsuelo; la del suelo; y la de lluvia, para alcanzar el máximo de superficie que puede explotarse con dos

Cuadro 10. Intensidades de cultivo actuales y previstas para el año 2010, en cinco regiones del mundo.

Año	Índices de cultivo en cinco regiones del mundo†					Total
	ASS	ALyC	CONA	AO	AM	
	----- % -----					
1988/1990	55	61	83	105	110	79
2010	62	67	93	110	119	85

† ASS es África Subsahariana, con 39 países; ALyC es América Latina y el Caribe, con 24 países; CONA es Cercano Oriente y Norte de África, con 14 países; AO es Asia Oriental, excluyendo a China, nueve países; AM es Asia Meridional, con 24 países.

Fuente: FAO (1993).

cultivos al año (Shen y Walter, 1992). El segundo proyecto, en la India, busca el reordenamiento de 2391 cuencas hidrológicas para su manejo bajo temporal, buscando conservar el agua de lluvia a través del uso racional de la tierra. En varias áreas piloto se ha logrado incrementar simultáneamente el IC desde 1.10 hasta 1.27 y los rendimientos de los cultivos (Abrol *et al.*, 1994).

Hay ejemplos fuera de Asia que merecen ser enumerados. Los agricultores tradicionales del trópico subhúmedo mexicano han desarrollado patrones dobles de cultivo (maíz-frijol, maíz-maíz) y hasta triples (maíz-frijol-maíz) para condiciones de temporal, en tierras planas y profundas; esto es, los índices de cultivo asociados con tales patrones de cultivo son iguales a 2 y a 3 (Turrent, 1980). La fertilización se hace casi exclusivamente con nitrógeno. En algunos ejidos del municipio de San Andrés Tuxtla, estado de Veracruz, los terrenos en ladera sólo se explotan durante cuatro o cinco años con el cultivo de maíz, que es doble en los dos primeros años, y simple en los dos o tres años subsecuentes, antes de dejarse en "acahual" (vegetación espontánea) durante cuatro años, para reiniciar el ciclo citado después de rozar y quemar. El "descanso" de la tierra es justificado por los agricultores, como la forma de recuperar la productividad.

En el verano de 1988, se inició un experimento de plazo largo en una ladera erosionada de un Entisol con 14.5 % de pendiente, que había cumplido su cuarto año de explotación con maíz. El objetivo del experimento es aprender a desarrollar "terrazas de muro vivo" (TMV) aprovechando la energía de las aguas de

escurrimiento, para realizar la mayor parte del trabajo de construcción; el resto es realizado automáticamente en la roturación anual, que se hace con arado reversible. El agua de escurrimiento es enfrenada en su recorrido por la interacción de un seto en contorno (*Gliricidia sepium* o *Leucaena leucocephala*) y un filtro de sedimentos hecho anualmente, con los residuos del cultivo y de la poda del seto. Esta se realiza a 60 cm de altura dos veces al año, para así limitar su competencia con el cultivo principal, que es el cultivo doble de maíz. En el experimento se cotejan hipótesis sobre la intensidad del laboreo, la caída vertical entre setos y la especie leguminosa. En el Cuadro 11, se muestran los resultados al cabo de cinco y medio años, después de nueve podas a los setos, y once cultivos de maíz (Turrent *et al.*, 1994 a, b, c).

Los resultados presentados en el Cuadro 11, muestran que al cabo de 5.5 años de desarrollo de las TMV, se habían capturado sedimentos locales que alcanzaron un espesor máximo hasta de 35.6 cm, en su contacto con el seto. La acumulación de sedimentos en la parte inferior de la terraza y la pérdida de sedimentos en la parte superior de la misma terraza, modificaron la topografía de la ladera. Como resultado, la pendiente promedio de las TMV

evoluciona desde 14.5 % hasta el ámbito de 3.9 a 8.7 %, según el tratamiento experimental.

La hipótesis de trabajo era que, el transporte de los sedimentos en el agua de escurrimiento, habría de causar el lavado de coloides y de nutrimentos, al ser el flujo de aquella continuo a lo largo de la ladera. Los resultados muestran, sin embargo, que la magnitud de tales pérdidas fue substancialmente inferior a lo que se sospechaba, ya que se retuvo en los sedimentos capturados 95.8 % de la arcilla original. La reducida pérdida de arcilla pudo deberse a que su transporte se realizaría predominantemente en forma de agregados y no como partículas primarias (Alberts *et al.*, 1980). Se retuvo en los sedimentos 96.2 % de la materia orgánica. Las pérdidas son mayores en cuanto a los cationes y al pH. Este último se redujo en 0.46 unidades. La pérdida de cationes bivalentes Ca y Mg es mayor en términos relativos, que la pérdida de K. Hay, en cambio, un enriquecimiento del P en los sedimentos, que proviene probablemente del plan de fertilización. La hipótesis actual es que los procesos de lavado de coloides y de cationes, y del enriquecimiento del P, han de ceder substancialmente, en la medida que se reduzca, aún más, la pendiente de las TMV. Esta hipótesis ha de cotejarse en los próximos años. De no

Cuadro 11. Características de las terrazas de muro vivo (TMV) desarrolladas en un Entisol en ladera con 14.5 % de pendiente, y rendimientos promedio de maíz obtenidos en dos ciclos de cultivo durante cinco y medio años.

Tratamiento†	EMS‡	Pendiente	Rendimientos de maíz§		
			PV	OI	Total
	cm	%	t ha ⁻¹		
1.0-TA	22.5	8.7	3.64	2.07	5.71
0.75-TA	26.3	3.9	3.32	2.06	5.38
1.0-TM	35.6	5.3	3.29	1.76	5.05
Testigo (T)	-	14.5	3.75	1.56	5.31

Capa arable¶	Propiedades físicas y químicas#							
	Arcilla	Limo	MO	pH	P	K	Ca	Mg
	%			ppm				
Original	21.6	11.1	3.38	6.23	5.8	150	1570	634
Sedimentos	20.7	11.8	3.25	5.77	23.3	141	1407	558
Equivalencia (%)	95.8	106.3	96.20	0.46	401.7	94	89.6	88

† 1.0-TA significa 1 m de caída entre setos, y laboreo ligero con uso de tracción animal; 0.75-TA significa 0.75 m de caída entre setos, y laboreo ligero con uso de tracción animal; 1.0-TM es con laboreo intenso con uso de tractor. Todos los tratamientos recibieron el mismo plan de fertilización (120-60-0) en el ciclo PV y (80-30-0) en el ciclo OI, variedad y densidad de población.

‡ EMS es el espesor máximo de los sedimentos capturados por el filtro de sedimentos y el seto.

§ PV significa ciclo primavera-verano, coincidente con la temporada normal de lluvias; OI es el ciclo otoño-invierno, que funciona en gran medida con la humedad remanente del PV.

¶ Se evaluaron las propiedades de la capa arable del suelo en su situación original y en la sección receptora de la terraza, integrada por sedimentos generados en la parte "donante" de la misma terraza.

Arcilla y limo por método del hidrómetro; materia orgánica por el método de la combustión húmeda; pH, en agua, relación 1:2; P, es Bray P1; K, Ca y Mg, cationes extraíbles con acetato de amonio 1N pH 7.

Fuente: Turrent *et al.* (1995a, b, c).

refutarse, las TMV alcanzarían, como tecnología, un razonable grado de convergencia hacia la sostenibilidad de la productividad del suelo.

En el ciclo primavera-verano, que se caracteriza por la abundancia de agua de lluvia, los rendimientos promedio de grano de maíz asociados con el tratamiento testigo (T), se mantuvieron altos durante el periodo de estudio. Tal ocurrió aún bajo el severo grado de erosión a que está sometido ese tratamiento, y que lo hace no sostenible. Aquel rendimiento fue similar al que se obtuvo con el tratamiento TMV en el ciclo primavera-verano (P-V), caracterizado por la abundancia de lluvias. En el ciclo otoño-invierno (O-I), en cambio, son típicos los episodios de sequía durante el periodo reproductivo del cultivo. Es en este ciclo, que el rendimiento de maíz asociado con el tratamiento TMV, supera en 0.5 t ha^{-1} al rendimiento asociado con el tratamiento testigo, durante el periodo de estudio. El análisis económico de la serie de tiempo de los rendimientos indica, que el tratamiento TMV es rentable, con una relación beneficio/costo igual a 1.20, si no se asignara costo alguno por los conceptos de: (a) los coloides y los cationes que se perdieron en el proceso; y (b) la contribución a la eutrofización de los cuerpos de agua, destino del agua de escurrimiento.

La ladera experimental ha sido manejada continuamente con el cultivo de maíz durante 9.5 años, que a su vez fueron precedidos por cuatro años de descanso. En los primeros cuatro años, el agricultor manejó comercialmente la ladera, y en los siguientes 5.5 años se ejecutó el plan experimental. El índice de cultivo cambió de 0.75 (seis cultivos en ocho años) hasta 1.26 (17 cultivos en 13.5 años) o a 2, en los últimos cinco años y medio. Como puede inferirse por el comportamiento del tratamiento testigo, el cambio de la fertilización comercial a la del plan experimental, fue, probablemente, el factor principal para sostener la alta dimensión de capacidad de la ladera, como sistema de producción. Sin embargo, este factor tecnológico no converge hacia la sostenibilidad. Inevitablemente, la erosión terminaría empujando a la ladera más allá de donde la disponibilidad abundante de lluvia y la fertilización fueran capaces de sustituir al suelo perdido. El tratamiento de TMV añadió como contribución al plan de fertilización un mayor rendimiento en el ciclo O-I y una clara reducción del proceso de erosión. Esta reducción podría alcanzar y aún rebasar el nivel en el que la pérdida de suelo sea inferior a la tasa natural de generación de suelo.

La tecnología de la terraza de muro vivo podría ser factor para incrementar sosteniblemente la dimensión de capacidad de aquellas laderas del trópico subhúmedo de México, para las que el experimento aporta información pertinente. Esta tecnología y otras también derivadas de los trabajos pioneros del Instituto de Investigaciones en Agricultura Tropical (IITA) sobre "el Cultivo en Callejones" (Alley farming), puede contribuir a incrementar sustancial y sustentablemente la dimensión de capacidad del sistema agrícola del mundo (Kang *et al.*, 1984). Su contribución sería particularmente útil en las regiones tropicales húmedas y subhúmedas de ladera. FAO (1993a) estima que 423 millones de 757 millones de hectáreas de labor actuales de los países en desarrollo, pertenecen a las categorías de húmedas y subhúmedas, con una fracción considerable de éstas, ubicada en laderas.

Como en el ejemplo del trópico subhúmedo de México citado, los agricultores tradicionales de otras regiones de México (Turrent, 1980), y de otras regiones del mundo (ASA, 1976), han desarrollado patrones de cultivo en los que el IC es mayor que 1. También los productores de tipo empresarial de México, y seguramente de otras partes del mundo, han desarrollado patrones dobles de cultivo para el régimen de temporal, que se manejan con alto grado de mecanización. En muchas partes de México, sin embargo, tales tecnologías son subutilizadas debido a la carencia de planes congruentes de crédito, de asistencia técnica, o de desarrollo tecnológico. El desarrollo de tecnologías para mejorar la eficiencia de estos patrones dobles de cultivo (mejoramiento genético, producción, protección, y mecanización), y su transferencia efectiva a los agricultores, tendría el efecto de incrementar la dimensión de capacidad del sistema agrícola del mundo. Esto es particularmente pertinente para los PED, en virtud de su escasa disponibilidad de tierra de labor *per capita*.

Las tierras de labor explotadas bajo temporal en los trópicos semi-áridos secos del mundo, típicamente muestran IC inferiores a 1 (FAO, 1993). En esta fuente se señala que en los países en desarrollo se dispone de 86 millones de ha de tierras de labor en el trópico semiárido seco y 148 millones de ha en el trópico semiárido húmedo. El bajo IC asociado con la actividad agrícola en estas tierras se debe frecuentemente al sistema de "Año y Vez", en el cual el año de descanso tiene por objeto almacenar humedad en el perfil del suelo, para complementar la limitada

disponibilidad de agua de lluvia del año siguiente. En otras partes, como en México, la intención del agricultor es sembrar la tierra todos los años, pero el atraso del inicio de las lluvias en casi la mitad de los años, reduce sensiblemente la longitud del periodo de crecimiento, y la tierra ha de ser dejada baldía. En cambio, el sistema de explotación agropecuaria integrada, que es practicada por algunos grupos étnicos como el "Menonita", en esas regiones de México, amplía notablemente la frecuencia de años en que se siembra la tierra, acercando el valor del IC a la unidad. La integración agropecuaria añade flexibilidad a la unidad de producción, ampliando su margen de maniobra y reduciendo su vulnerabilidad ante eventos catastróficos para un cultivo en particular (Turrent *et al.*, 1994a; Vázquez, 1982). El desarrollo de variedades de plantas de ciclo muy precoz, ayudaría a aumentar la frecuencia de siembra.

Parecería que hay varias estrategias para incrementar el valor del índice de no-siniestro de la tierra de labor. El reordenamiento del uso de esta tierra de labor en relación con las especies cultivadas, y su acondicionamiento para enfrentar los eventos catastróficos (sequías, inundaciones, heladas, vendavales, etc.), así como el manejo agronómico para conservar la productividad del suelo, (particularmente su materia orgánica), y el desarrollo de cultivares flexibles, son algunas alternativas que pueden ser consideradas y adaptadas mediante investigación, a las condiciones socioeconómicas de los agricultores.

TECNOLOGIAS PARA AUMENTAR LA DIMENSION DE INTENSIDAD

El incremento de la dimensión de intensidad del sistema agrícola mundial, ha recibido gran atención de la comunidad agronómica. La búsqueda permanente para incrementar la productividad de los recursos naturales, particularmente del recurso tierra, ha ocupado la mente de muchas generaciones de agrónomos. Aún hoy, ante la universal preocupación por la sostenibilidad ecológica, muchos estamos preparados para defender la búsqueda del máximo potencial productivo rentable y sostenible de la tierra, como el quehacer genuino de la agronomía. La rotación de los cultivos, la reposición periódicamente y la conservación de la materia orgánica así como de la estructura del suelo; la protección del suelo contra la

erosión; el uso de fertilizantes y mejoradores del suelo; el uso de variedades y híbridos mejorados con alta relación grano/paja; los sistemas integrados de protección contra los enemigos de las plantas, etc.; son algunas de las herramientas agronómicas tradicionales útiles para incrementar sosteniblemente la dimensión de intensidad del sistema agrícola.

Es pertinente considerar lo expresado por Reetz *et al.* (1990) en su análisis de un experimento clásico conducido durante 113 años por la Universidad de Illinois, en el mismo suelo, conocido como "The Morrow plots". Observa que:

- (a) Cuando no se fertiliza, la producción de cosechas reduce la productividad del suelo.
- (b) Las rotaciones de cultivos sin la aplicación de fertilizantes, ayudan a enfrenar el abatimiento de los niveles de nitrógeno y de carbono orgánico en el suelo, pero no mantienen un alto nivel de productividad.
- (c) La aplicación de estiércol, piedra caliza, nitrógeno, fósforo y potasio es necesaria para el mantenimiento de altos niveles de nutrimentos y una alta productividad del suelo.
- (d) Cuando se agotan los nutrimentos, la aplicación de fertilizantes apropiados puede revertir la tendencia de agotamiento de la materia orgánica del suelo.
- (e) La combinación de una rotación de los cultivos y de una fertilización adecuada, produce los rendimientos más altos de maíz. Sin embargo, la sola aplicación de fertilizantes, no iguala el efecto benéfico de la rotación de cultivos.
- (f) La rotación de cultivos, combinada con la fertilización adecuada, produce los más altos rendimientos de cultivos y mantiene los más altos niveles de nitrógeno y de materia orgánica en el suelo.
- (g) El proceso productivo agrícola causa inevitablemente el agotamiento de los nutrimentos minerales del suelo. Buol (1994) ilustra este fenómeno a partir de la dieta humana, que demanda 1 g de P al día. Una población mundial de casi 5500 millones de habitantes, que ha de alimentarse de 1500 millones de hectáreas de tierras de labor, demanda extraer 1.3 kg de P por hectárea de labor cada año. El carácter finito de la reserva de este nutrimento puede ser inferido a partir del mencionado coeficiente de extracción y del hecho de que, la mayoría de los suelos tiene entre 200 y 300 kg de P total en su capa arable y aún menos en su subsuelo, mientras que gran parte del P total está en formas que no son asimilables para los cultivos.

En el Cuadro 12 se presenta el balance anual modal para los nutrientes minerales presentes en los cultivos del distrito Kisii, Kenya (Smaling *et al.*, 1993). La extracción de nutrientes minerales por los cultivos no es causa única de su salida del suelo; también lo son la lixiviación en aguas de infiltración profunda y en aguas de escurrimiento superficial. Buol (1994) considera que el manejo racional de los nutrientes minerales debe buscar la sincronía con la extracción por los cultivos, para hacer mínima la eutrofización de la ecología.

Al reponer los nutrientes extraídos por los cultivos, la fertilización puede enmascarar la degradación del suelo por erosión, particularmente en las regiones húmedas. Esto es así, porque dentro de ciertos límites, los fertilizantes y el agua de lluvia pueden actuar como sustitutos técnicos del suelo perdido por erosión, (Arce-Díaz *et al.*, 1993). En este sentido, el uso de fertilizantes puede conducir al uso no sostenible del suelo. El ejemplo de la ladera de un Entisol acondicionada con TMV discutido en la sección previa de este ensayo, documenta este fenómeno. En cambio, en los casos de deficiencias extremas de nutrientes, el uso de fertilizantes contribuye a limitar la erosión hídrica, a través de incrementar la producción de biomasa vegetal (Ríos, 1991).

Hoy en día, se sabe más sobre los procesos de contaminación de los acuíferos subterráneos y de la contaminación y eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, que se asocian con el lavado de los nutrientes minerales, como se ilustra en el Cuadro 12. Finalmente, investigaciones recientes asocian el uso prolongado de fuentes amoniacales de N como fertilizantes, con la disminución de la capacidad de los microorganismos del suelo para oxidar CH_4 a CO_2 . Esto no ocurre así cuando se usa $N-NO_3$ como fertilizante (Hutsch *et al.*, 1994). El suelo es el único ecosistema conocido, donde ocurre la oxidación del gas CH_4 . Todo esto confirma que, como cualquier herramienta útil, el fertilizante es un "arma de dos filos", que habremos de usar juiciosamente.

Ludwick (1994) enumera diez recursos metodológicos que ayudan a optimizar el uso de N y, a la vez, a reducir el lavado profundo de $N-NO_3$: (1) una aplicación fraccionada y múltiple; (2) una aplicación atrasada; (3) un segundo cultivo ($IC = 2$) para extraer el N residual; (4) una aplicación precisa y eficiente; (5) experimentación de campo; (6) muestreo y análisis del

Cuadro 12. Balance anual promedio de aportaciones y pérdidas de nitrógeno, fósforo y potasio de cultivos en surco, en un suelo de Kenya, durante 1990.

Procesos	Nutrientes del suelo		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
	- - - - kg ha ⁻¹ año ⁻¹ - - - -		
Entradas			
Fertilización mineral	17	12	2
Estiércol	24	5	25
Deposiciones	6	1	4
Fijación biológica	8		
Sedimentación	0	0	0
Salidas			
Extracción en el grano	55	10	43
Extracción en los residuos	6	1	13
Lavado	41	0	9
Desnitrificación	28	0	0
Erosión hídrica	37	10	36
Balance	-112	-3	-70

Fuente: Van Diest (1994).

suelo para tomar en cuenta el N residual; (7) el uso de inhibidores de nitrificación; (8) la fuente de N; (9) conocimiento del N proveniente de leguminosas y estiércoles; y (10) el uso de proporciones adecuadas en la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio.

Konno *et al.* (1994) describen el concepto de la Capacidad Ambiental de Asimilación de Nitrógeno (CAAN) y su aplicación en Japón. Definen a la CAAN como la cantidad anual de N que puede ser aplicada a un suelo agrícola, que satisface simultáneamente los requerimientos para la productividad agrícola, así como para la preservación ecológica. Su experiencia indica que la aplicación total de N al cultivo de arroz inundado no debe rebasar el nivel de 330 kg ha⁻¹ año⁻¹, en Japón. De esta manera se logra que las aguas de drenaje de los terrenos agrícolas contengan menos de 10 mg de $N-NO_3$ por litro, lo cual las hace potencialmente potables.

FAO (1993b) recomienda el concepto de Sistema Integrado de Nutrición de las Plantas (SINP) como una guía racional para la utilización de fertilizantes en la agricultura.

El uso de pesticidas es ambivalente en el mismo sentido en que el uso de fertilizantes es un arma de dos filos. Esto exige su utilización racional, que no su proscripción a ultranza. FAO (1993a) recomienda el Sistema Integrado de Manejo de Plagas (SIMP), como guía racional para la lucha contra los insectos y reconoce que el uso indiscriminado de insecticidas ha propiciado que haya en la actualidad más de 450 especies de artrópodos, resistentes a los

insecticidas de mayor uso. El SIMP se apoya en cinco componentes: (1) el combate de plagas con rotaciones de cultivo; el intercultivo; y otros; (2) el desarrollo de cultivares resistentes; (3) el control biológico; (4) el uso selectivo de insecticidas; y (5) los programas de sanidad vegetal. Los frentes de defensa de los cultivos contra las enfermedades y contra las malezas, tienen la misma ambivalencia que los de la defensa contra los insectos y la mala nutrición mineral de las plantas, y también han de ser abordados con estrategias múltiples basadas en el conocimiento científico.

El mejoramiento genético de los cultivos ha de continuar aportando generosamente al incremento de la dimensión de intensidad del sistema agrícola mundial y, sin duda, la biotecnología será un complemento estratégico. El aprovechamiento más generalizado del vigor híbrido como factor del incremento del potencial productivo de los nuevos cultivares, habrá de extenderse más ampliamente al ámbito de las especies autóгамas, como ya ocurre en China con el arroz. El aprovechamiento del mecanismo de la apomixis (multiplicación asexual mediante semilla) aparentemente inminente para el arroz y el maíz (FAO, 1993a) habrá de ampliar las fronteras del aprovechamiento del vigor híbrido, hasta los estratos de los pequeños agricultores. La multiplicación asexual de los híbridos permitirá eliminar la compra repetitiva de la semilla híbrida: el productor podrá cosechar su propia semilla híbrida. Este logro sería un producto de la interacción entre el mejoramiento genético tradicional y la biotecnología.

Otra área en la que la disciplina de mejoramiento genético continuará aportando a la dimensión de intensidad y también a la de sostenibilidad ecológica, es sin duda la de la estrategia genética para la defensa contra los enemigos naturales de los cultivos. La resistencia genética de las variedades de trigo y de arroz contra sus enfermedades prevalentes, que se asoció con la Revolución Verde, hizo posible inmensos ahorros por concepto de fungicidas y de energía (hasta cinco aspersiones por ciclo de cultivo). Tales ahorros favorecieron tanto a los productores como a los consumidores; con alcances proecológicos globales, que descuentan en parte al muy señalado efecto anticológico. Se avanza en los cereales y en otras especies, en la acumulación de genes de resistencia a enfermedades y a insectos y hasta a algunas plantas parásitas, y de nuevo en esta área, la biotecnología será complemento estratégico.

Adicionalmente, la contribución del mejoramiento genético es ya tangible en el ámbito de las tensiones ambientales abióticas para los cultivos. Tal es el caso de los genes de adaptación a la hiperacidez del suelo, a la deficiencia de fósforo, y a la toxicidad asociada con elevados niveles de aluminio y manganeso "activos". La comunidad científica agronómica ha comenzado a poner a la disposición de los agricultores, nuevos cultivares que añaden nuevos genes a los genes pioneros de la Revolución Verde. Los cultivares que portan estos genes habrán de hacer menos cara la producción agrícola en suelos naturalmente infértiles, a través de reducir la demanda de diversos insumos correctores (Zeigler *et al.*, 1994). También en el ámbito de la fijación biológica de N, los avances recientes prometen ahorros en energía y en costos de producción de especies no leguminosas, tales como la caña de azúcar y el arroz (Boddey *et al.*, 1994).

EL APROVECHAMIENTO DE LA TECNOLOGIA

La forma en que los productores agrícolas del mundo aprovechen las tecnologías para aumentar las dimensiones de capacidad y de intensidad del sistema agrícola global, será el resultado de la conjugación global, regional y nacional de factores tales como: (1) la tasa de incremento de la población; (2) la dotación en calidad y en cantidad del recurso tierra de labor *per capita*; (3) el grado de desarrollo; (4) la calidad de las políticas de subsidio al sector agrícola; (5) las presiones de los países desarrollados para ordenar el mercado global; (6) la calidad del capital institucional y social; y (7) la disponibilidad de recursos internacionales para estimular la productividad y la sostenibilidad del sistema agrícola mundial.

Si la dotación en cantidad y en calidad del recurso tierra de labor *per capita* fuera razonablemente homogénea en el mundo, el reto de la producción sustentable de alimentos podría plantearse dentro de una esfera predominantemente técnico-agronómica. Como se señala previamente, si bien la disponibilidad actual de tierra de labor *per capita* es de 0.279 ha en el mundo, ésta se desagrega a 0.634 ha en los países desarrollados y 0.182 ha en los países en desarrollo. La heterogeneidad subsiste aún dentro de los PED; así, Africa cuenta con 0.290 ha *per capita*; América del Sur con 0.478 ha; Asia con 0.146 ha; y China dispone de 0.085 ha de labor *per capita* (WRI, 1993). En el

ámbito de las reservas de tierras de labor, la heterogeneidad es aún mayor: tan sólo dos de los países en desarrollo Brasil y Zaire, concentran la mayor parte de esas tierras (FAO, 1993a).

Gran parte de los países en desarrollo, particularmente los del Africa Subsahariana, continuarán con su actual carencia de divisas, lo que les impedirá importar los insumos requeridos para aumentar su producción de alimentos, y menos aún por su cuantía, para importar los alimentos adicionales que requerirán en los próximos 25 años.

Los países desarrollados, excedentarios en la producción de alimentos, aspiran a sostener y a ensanchar su mercado entre ellos y con los países en desarrollo, en la medida en que éstos puedan financiar sus compras. Factores adicionales de esta mezcla son la globalización del mercado y la aplicación a ultranza de la teoría de las ventajas comparativas al sector agropecuario, por parte de muchos de los gobiernos de los países en desarrollo. Actuando en consecuencia, muchos países están reduciendo unilateralmente sus subsidios a la producción de alimentos, así como su apoyo a otras formas de fomento a la producción. Esto no tan sólo debilitará la producción doméstica de alimentos, sino que también podrá limitar los esfuerzos en materia de protección del ambiente.

En este entorno de eventos, ha de examinarse el paradigma de la Revolución Verde, motor del sustantivo incremento en la producción de alimentos en los países en desarrollo, en las tres últimas décadas. Como lo proclaman Borlaug y Dowsell (1994) y Holmes (1993), la Revolución Verde aún ha de aportar sustantivamente a la carrera entre la población y la producción de alimentos. Esta vez, sin embargo, la humanidad demanda a la comunidad agronómica mayores y más tangibles logros simultáneos en materia de protección ambiental.

Gran parte de la comunidad agronómica rechaza al Sistema de Agricultura Sustentable con Bajos Recursos Externos (ASBIE), o "Low External Input Sustainable Agriculture" (LEISA), como alternativa al paradigma de la Revolución Verde. El argumento más poderoso se deriva del carácter inescapablemente extractivo de la agricultura, en el aspecto de los nutrimentos requeridos por la dieta humana. El trabajo experimental de agrónomos, ha demostrado la insostenibilidad de tal sistema, aún a plazo corto, pero con mayor razón a plazo largo, cuando se aplica en tierras naturalmente infértiles (Hanson y Cassman, 1994;

Sánchez, 1994). En cambio, hay tres razones por lo menos, por las que el sistema ASBIE (LEISA) puede ser complemento del paradigma de la Revolución Verde. La primera razón se deriva de la política de reducción del subsidio a la producción previamente citada, que implica en gran medida la reducción del acceso de los productores tradicionales a los insumos agrícolas externos; el paradigma de la Revolución Verde tendrá poco que aportar bajo estas circunstancias. El sistema ASBIE (LEISA) podrá ayudar a aliviar la inequidad promovida por tales políticas.

La segunda razón deriva del carácter externo de las tierras de labor de baja calidad (suelo delgado, sequía, heladas, etc.) a la estrategia original de la Revolución Verde: el sistema ASBIE (LEISA) podrá, de nueva cuenta, atemperar la inequidad concomitante que deriva de la aplicación selectiva del paradigma de la Revolución Verde en las tierras de mayor calidad agronómica. Finalmente, este paradigma, habrá de ser enriquecido para responder a la demanda generalizada por la sostenibilidad, pudiendo beneficiarse por algunos componentes del sistema ASBIE (LEISA).

El paradigma de la Revolución Verde involucra una estrategia de generación y de transferencia de tecnología de tipo "gran visión"; o sea, de amplia aplicación en su radio geográfico de acción y de bajo nivel de precisión tecnológica. La adopción de este paradigma en gran escala en los años 60 y 70, fue posibilitada por la compatibilidad de aquella, con la baja disponibilidad relativa de recursos científicos y profesionales de la agronomía, en los países en desarrollo. La actual demanda de sostenibilidad asociada con la producción adicional de alimentos, implica una reforma al paradigma de la Revolución Verde para acomodar una mayor cantidad de conocimiento. Tal reforma podría involucrar dos aspectos importantes. El primero respetaría el carácter de Tecnología de Gran Visión, y el segundo profundizaría con un mayor grado de resolución de la tecnología; es decir, desarrollaría y aprovecharía los avances del conocimiento sobre las interacciones entre los factores incontrolables y los controlables de la producción, pero al nivel de unidad de producción agrícola.

Sánchez (1994) propone cambios al paradigma de fertilidad de suelos que parecen consistentes con el primer aspecto de reforma del paradigma de la Revolución Verde. Entre esos cambios se consideran:

(1) muchos de los principios derivados de la agroforestería para la recirculación de nutrientes minerales y para la conservación del suelo y el agua; (2) los nuevos conocimientos sobre genes de adaptación a esfuerzos abióticos derivados de la infertilidad de algunos suelos tropicales; (3) los ciclos y subciclos de los nutrientes minerales (Van Diest, 1994); (4) varios conceptos derivados del sistema ASBIE (LEISA); y (5) la labranza de conservación. Estos conocimientos pueden ser abordados desde una óptica de gran visión y ser integrados con los elementos originales del paradigma de la Revolución Verde. De esta manera, este último convergería más hacia la sostenibilidad de la producción.

Adicionalmente, conceptos como el Sistema Integral de Nutrición de Plantas (SINP) y el Sistema Integrado de Manejo de Plagas (SIMP) pueden ser integrados al paradigma de la Revolución Verde, en aquellas regiones, países y distritos que disponen de un mayor capital institucional (FAO, 1993a). La asesoría agronómica al productor, como una práctica privada profesional, permitirá avanzar hacia el aprovechamiento de tecnologías de mayor grado de resolución, como ocurre en los países desarrollados (Turrent *et al.*, 1994b,c).

CONCLUSIONES

La variable "incremento en la población mundial" para el año 2010 ha quedado ya establecida, mientras que la variable "incremento en la producción de alimentos" de origen vegetal es aún una incógnita. Es posible predecir para ese futuro mediano, lo que será la población mundial (7150 millones) y su distribución: 80 % de esa población se asentará en lo que ahora llamamos países en desarrollo, hacia el año 2010. Con esto queda también definido el monto y la distribución de la demanda de alimentos. No es factible predecir con la misma certidumbre, lo que será el incremento en la producción de alimentos de origen vegetal, o su distribución, particularmente en lo que compete a los ahora países en desarrollo.

Hemos revisado en este artículo, el decrecimiento previsible en la disponibilidad de tierra de labor *per capita* al nivel global: 0.279 de hectárea en 1990, hasta 0.207 de hectárea en 2010. En este último año, la producción de alimentos de origen vegetal, se realizará a partir del equivalente a 0.132 de hectárea *per capita*, en los ahora países en desarrollo, mientras en los

países desarrollados habrá 0.512 de hectárea de labor *per capita*. No es difícil, por lo tanto, identificar la crisis para los países en desarrollo y para el mundo de que habrá una inmensa presión por el cambio de uso de las tierras que, siendo aptas para uso agrícola, actualmente están ocupadas por los ecosistemas más ricos en diversidad genética de nuestro planeta: en esos países hay 2572 millones de hectáreas aptas para la agricultura, de las que ya se usan 757 millones. Sin duda, los países en desarrollo serán el campo de batalla en los frentes de la carrera alimentos-población, y de la defensa de los últimos ecosistemas vírgenes del planeta Tierra; y esta batalla habrá de librarse, mientras el capital científico local continúa subdesarrollado.

También hemos sugerido en este artículo, que hay una solución agronómica para los países en desarrollo, que ayudaría a reducir el remanente de presión demográfica sobre su tierra virgen, que persistiría aún después de: (a) eliminar la inequidad actual interna en la distribución de los alimentos; y (b) el comercio con los países desarrollados. Esta solución agronómica tendrá que operar dentro de una baja disponibilidad de conocimiento científico que, impuesta por el subdesarrollo, continuará siendo la principal restricción contra la producción de alimentos. Su instrumentación es responsabilidad primaria de los países en desarrollo, pero también lo es, del mundo desarrollado.

La solución agronómica está enfocada principalmente a la tierra de labor actual, y tiene como objetivos (a) el incremento de la producción de alimentos de origen vegetal por unidad de superficie, con preservación o mejoramiento de sus recursos agrícolas; y (b) minimizar la presión por la apertura de nuevas tierras de labor y el trastorno indirecto sobre el ecosistema virgen. La solución agronómica sugerida implica acciones simultáneas y a la vez sinérgicas, en tres componentes del manejo del recurso tierra de labor: protección, capacidad e intensidad.

La protección del recurso tierra de labor implica, de manera primaria, la protección del epipedon contra la erosión: sus coloides, cationes intercambiables, aniones, carbón orgánico, biomasa microbiana, estructura, etc; implica también, la conservación del recurso agua de lluvia, esto es, el lograr la máxima infiltración posible *in situ* del agua de lluvia. Los métodos vegetativos para conservar el suelo y el agua, (algunos derivados de la agroforestería), cumplen con este doble objetivo, con bajos costos privado y

LITERATURA CITADA

ecológico. Muchas especies vegetales arbóreas y no-arbóreas, se adaptan a la diversidad de condiciones climáticas, edáficas y sociales de los diversos países en desarrollo. Además de cumplir con el objetivo de preservar el epipedon, algunos métodos vegetativos ofrecen servicios adicionales como: la fijación biológica de nitrógeno, la recirculación de nutrimentos del subsuelo, el control biológico de las malezas, la producción de leña-combustible, etc.

La dimensión actual de capacidad de la tierra de labor, puede ser incrementada en los sentidos del tiempo (índice de cultivo, e índice de no-siniestro) y del espacio: los cultivos compuestos y/o los cultivos intercalados en franjas. Estos sistemas inventados por los agricultores tradicionales, pueden producir "eficiencias relativas de la tierra" mayores a la unidad. Tal implica un incremento virtual en la superficie de labor. Empero, es necesario readaptar estas estrategias de la agricultura tradicional, a las nuevas demandas de mayor productividad de la mano de obra. Es precisamente el entorno de los países en desarrollo, donde se inventaron estos sistemas y donde aún se practican, el que habrá de beneficiarse con nuevos desarrollos tecnológicos que permitan incrementar el componente de capacidad del recurso tierra de labor.

El componente de intensidad de la tierra de labor ha ocupado históricamente, la mente de los agrónomos. El paradigma de la Revolución Verde ha sido una estrategia agronómica que permitió el incremento de la producción de alimentos en los países en desarrollo, pero que también se asoció, en alguna medida, con el manejo insostenible del recurso tierra de labor. En nuestra opinión, esa debilidad de la estrategia fue un producto de: (a) su uso a ultranza fuera del dominio tecnológico previsto; y (b) la obligada exclusión de varias herramientas clásicas de la agronomía, que tenían como prerequisite un mínimo de conocimiento científico, no disponible durante su implantación. Ahora sabemos que los sistemas "agricultura sostenible baja en el uso de insumos externos" y el de "agricultura orgánica", pudieron ocupar muchos de aquellos nichos donde el paradigma de la Revolución Verde no era funcional. Lo que sí funcionó con la Revolución Verde en los países en desarrollo, ha de ser rescatado y complementado con nuevos conocimientos científicos, que en este artículo se mencionan, para impulsar de nuevo el incremento en el componente de intensidad de la tierra de labor.

- Abrol, I.P., J.C. Katyal y S.M. Virmani. 1994. Rainwater management for sustainable agricultural production in the tropics. *Transactions 15th World Soil Sci. Congress. Acapulco Mexico. Vol. 7a: 59-71.*
- Alberts, E.E., W.C. Moldenhauer y G.R. Foster. 1980. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill flow. *Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 590-595.*
- American Society of Agronomy (A.S.A.). 1976. Multiple cropping. Special Publication number 27. Matthias Stelly, Editor. Madison, Wisconsin.
- Andrews, D.J. y A.H. Kassam. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. pp. 1-10. *In: Multiple cropping, ASA. Special Publication Number 27. Madison, Wisconsin, USA.*
- Arce-Diaz, E., A.M. Featherstone, J.R. Williams y D.L. Tanaka. 1993. Substitutability of fertilizer and rainfall for erosion in spring wheat erosion. *J. Production Agric. 6: 72-76.*
- Boddey, R.M., S. Urquiaga, V.M. Reis y J. Döbereiner. 1994. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. *Plant Soil 137: 111-117.*
- Borlaug, N.E. y C.R. Dowsell. 1994. Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. Keynote lecture. *In: pp. 1-15. Supplement to Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico.*
- Bullock, P. 1994. The need for a paradigm change in Soil Science in the next Century. *Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico. Vol. 9: 427-437.*
- Boul, S.W. 1994. Soil, societies yoke to the earth. *Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico. Vol. 1: 89-103.*
- Crosson, P. 1991. Sustainable agriculture in North America: Issues and challenges. *Can. J. Agric. Econ. 39: 553-565.*
- Eswaran, H. y S. Funes. 1994. Soil science challenges of Agenda 21. *Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco Mexico. Vol. 9: 317-321.*
- FAO. 1993a. Agricultura: Hacia el año 2010. Conferencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Noviembre de 1993. Roma, Italia.
- FAO. 1993b. Sistema integrados de nutrición de plantas y agricultura sostenible. 17a Consulta del Programa de Fertilizantes de la FAO. Islamabad.
- Grimshaw, R.G. 1993. Soil and moisture conservation in Central America. Vetiver grass technology. Observations from visits to Panama, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras and Guatemala. July 4-16. The World Bank. Asia Technical Department. Washington, DC. USA.
- Grove, T.L. y C.A. Edwards. 1993. Do we need a new development paradigm? *Agr. Ecosystem. Env. 46: 134-145.*
- Hanson, R.G. y K.G. Cassman. 1994. Soil management and sustainable agriculture in the developing world. *Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico. Vol. 7a: 17-33.*
- Holmes, B. 1993. A new study finds that there's life in the Green Revolution. *Science 261: 15-17.*
- Hutchins, B.W., C.P. Webster y R.S. Poulson. 1994. Nitrogen fertilization and methane oxidation in agricultural soils.

- Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico. Vol. 19: 724-731.
- Kang, B.T., G.F. Wilson y T.L. Lawson. 1984. Alley cropping: A stable alternative to shifting cultivation. International Institute for Tropical Agriculture. Ibadan, Nigeria:
- Kass, D.C.L., J. Sanchez, J. Jimenez, J. Beer, L.C. Ramirez, L. Soto P. Onera y P. Ferreira. 1993. Changes in soil properties in long-term agroforestry experiments in Costa Rica. *In: Sustainable management of soils*. Lewis Publishers/CRC Chelsea, Michigan, U.S.A.
- Konno, T., M. Uwasawa y Y. Ozaki. 1994. Future prospect for integrated farming systems in Japan in relation to mineral cycling and sustainable agroecosystems to establish the environmental preservation type system. Transactions 15th Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico. Vol. 5a: 10-19.
- Ludwick, A.E. 1994. Maximum yield research. *In: pp. 2-12. Research for maximum yield in harmony with nature*. Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico.
- Miller, F.P. y M.K. Wali. 1994. Land use issues and sustainability of agriculture. Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico. Vol. 7a: 1-16.
- Mitchell, D.O. y Merlinda D. Ingco. 1992. World Development Report 1992. The World Bank. Wasington, D.C.
- Reetz, Jr., H.F., T.R. Peck y M.G. Oldham. 1990. Long term evidence for sound fertility management. *Better Crops with Plant Food* 74(1): 18-20.
- Reinties, C., B Haverkort y A. Waters-Bayer. 1992. Farming for the future. Macmillan Press LTD. London.
- Richards, J.F. 1990. Land transformation. pp. 163-178. *In: W.C. Clark and R.E. Mun (eds). Sustainable development of the biosphere*. Cambridge University Press. New York, U.S.A.
- Ríos Berber, D. 1991. La fertilización, componente de las prácticas de conservación de suelos. pp 400. *In: Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Sanchez, P. 1994. Tropical soil fertility research: towards the second paradigm. Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, México. Vol. 1: 65-88.
- Shen, F. y W.H. Walter. 1992. Managing the "Four Waters", an innovative concept of modernization. Mimeografía inédita. IPTRID/Banco Mundial, Washington, D.C. pp. 329. *In: FAO. "Agricultura hacia el año 2010"*. Conferencia 27 avo periodo de sesiones. Noviembre 6-25. Roma.
- Smaling, E.M.A., J.J. Stoorvogel y P.N. Windmeier. 1993. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. II. District scale. *Fert. Res.* 35: 237-250.
- Turrent Fernández, A. 1980. El sistema agrícola, un marco de referencia necesario para la planeación de la investigación agrícola en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México DF. pp. 1-60.
- Turrent Fernández, A. 1993. Tecnologías apropiadas para el desarrollo agropecuario. pp. 77-106. *In: Alternativas para el campo mexicano*. Tomo II. Distribuciones Fontamara. México, D.F.
- Turrent Fernández, A. J.I. Cortés Flores, R. Mendoza Robles, J.L. Alonso Avila, J.D. Alvarado, C. Bárcenas Soriano, E. Inzunza Inzunza, y N. Estrella Chulín. 1994a. Desarrollo de un prototipo de explotación agropecuaria familiar para el Distrito de Desarrollo Rural de Cholula. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Turrent Fernández, A., I.J. González Acuña, R. Aveldaño Salazar y M. Ortiz Valdéz. 1994b. El sistema PRONAMAT de diagnóstico-prescripción para el cultivo del maíz. I. El subsistema cartográfico. *Terra* 12: 150-158.
- Turrent Fernández, A., J.L. Zúñiga González, R. Moreno Dahme, y R. Aveldaño Salazar. 1994c. El sistema PRONAMAT de diagnóstico-prescripción para el cultivo del maíz. II. El diseño de manuales de diagnóstico-prescripción. *Terra* 12: 159-168.
- Turrent Fernández, A., S. Uribe Gómez, N. Francisco Nicolás, y R. Camacho Castro. 1995a. La terraza de muro vivo, para laderas del trópico subhúmedo de México. I. Análisis del desarrollo de la terraza durante 6 años. *Terra* 13: 276-298.
- Turrent Fernández, A., S. Uribe Gómez, N. Francisco Nicolás, R. Camacho Castro, M. Espinosa Russi, y R. Moreno Dahme. 1995b. La terraza de muro vivo, para laderas del trópico subhúmedo de México. II. Cambio en algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Terra* 13: 299-316.
- Turrent Fernández, A., S. Uribe Gómez, N. Francisco Nicolás y R. Camacho Castro. 1995c. La terraza de muro vivo, para laderas del trópico subhúmedo de México. III. Desempeño agronómico del cultivo doble del maíz bajo temporal. *Terra* 13: 317-337.
- Van Diest, A. 1994. Agricultural sustainability and soil nutrient cycling with emphasis on tropical soils. Transactions 15th World Soil Sci. Soc. Congress. Acapulco, Mexico. Vol. 5a: 48-61.
- Vazquez Aguilar, V. 1982. Productividad y estabilidad de los sistemas agrícola tradicional y agropecuario Menonita, en la región temporalera del Norte-Centro de México. Tesis de Maestría en Ciencias sin publicar. Colegio de Postgraduados de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Montecillo, México.
- World Resources Institute. 1993. World resources 1992-1993. Oxford University Press. New York.
- Zeigler, R.S., S. Pandey, J. Miler, L.M. Gourley y Sarkarung. 1994. Breeding acid-tolerant crops. *In: Proc. 3rd. Int. Symp. on Plant-Soil Interactions at low pH*. Sept. 12-16, 1993. Brisbane, Australia.

AMONIO/NITRATO Y CONCENTRACION IONICA TOTAL DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN CRISANTEMO.

I. CRECIMIENTO Y FLORACION

Ammonium/nitrate Ratio and Total Ion Concentration in the Nutrient Solution on Chrysanthemum Growth. I. Growth and Flowering

Rubén Bugarín M.¹, Gustavo A. Baca C., Jesús Martínez H., Juan L. Tirado T. y Angel Martínez G.

RESUMEN

En un sistema hidropónico por subirrigación se estudiaron los efectos de las concentraciones de $N-NH_4^+$ (1.5, 3.0 y 4.5 meq L^{-1}) en la relación de cationes y de $N-NO_3^-$ (10.5 y 13.5 meq L^{-1}) en la de aniones y la influencia de la presión osmótica (0.54, 0.72 y 0.90 atm) de la solución nutritiva de Steiner sobre el crecimiento y partición de biomasa aérea en tres variedades de crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat.) Kitam. tipo racimo: Puma, Funflower e Improved Funshine. Se adicionó un tratamiento testigo sin amonio y con 13.5 meq L^{-1} de $N-NO_3^-$. Los diferentes factores fueron estudiados en un diseño factorial $3 \times 2 \times 3 \times 3$ aleatorizado con tres repeticiones y con arreglo en parcelas divididas. A diferencia de los niveles osmóticos y de nitratos empleados, las concentraciones de amonio y variedades difirieron significativamente ($\alpha=0.05$) en su influencia sobre el crecimiento vegetal. Con el nivel de 4.5 meq L^{-1} de $N-NH_4^+$ en combinación con 10.5 ó 13.5 meq L^{-1} de $N-NO_3^-$, se lograron plantas más altas, con mayor número de inflorescencias y peso fresco o seco de biomasa aérea. Al incrementar la adición de amonio a la solución nutritiva se favoreció el crecimiento de brotes laterales y constituyó una porción importante de la biomasa aérea (33 % del total) al momento de la cosecha. El tratamiento testigo, produjo menor contenido de materia seca.

Palabras clave: *Dendranthema x grandiflorum*, hidroponía, presión osmótica, amonio, nitrato.

¹ Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México. rbugarin@nayar.uan.mx

Aceptado: Abril de 1998.

SUMMARY

Three chrysanthemum cultivars were grown under hydroponic gravel culture by subirrigation using Steiner's solution to determine the influence of $N-NH_4^+$ (1.5, 3.0, and 4.5 meq L^{-1}) on the mutual ratio between the cations and $N-NO_3^-$ (10.5 and 13.5 meq L^{-1}), on the mutual ratio between the anions as well as the nutrient solutions osmotic pressure (0.54, 0.72 and 0.90 atm), over the growth and the partitioning of the dry matter. A control treatment without ammonium, with 13.5 meq L^{-1} of $N-NO_3^-$, was added. All factors were studied using a randomized factorial $3 \times 2 \times 3 \times 3$ with three replications and distributed in a split block design. Both the ammonium ratios and cultivars influenced significantly plant growth whereas the osmotic levels and nitrate ratios did not affect it. With 4.5 meq L^{-1} $N-NO_3^-$ taller plants were obtained with greater number of inflorescences and total aboveground dry or fresh matter. The partitioning of dry matter indicated that the increase of ammonium in the nutrient solution allowed a better growth of branches which represented an important portion of the aerial dry matter at harvest. The control treatment produced less dry matter.

Index words: *Dendranthema x grandiflorum*, soilless culture, osmotic pressure, ammonium, nitrate.

INTRODUCCION

El cultivo en hidroponía es una técnica alternativa de producción que se ha empleado con éxito en muchos cultivos y abre nuevas posibilidades al productor en cuanto a mecanización, utilización de espacio, ahorro de energía y labores culturales (Van Os, 1986). Los sistemas hidropónicos en comparación con el suelo, permiten un uso más eficiente de agua y fertilizantes;

así como mayores densidades de población. Esto explica el hecho de por qué en crisantemo se logren incrementos hasta de 24 % en rendimiento (tallos m^{-2} año $^{-1}$) y ciclos de cultivo más cortos, haciendo posible la obtención de cinco cosechas por año (De Visser y Hendrix, 1987). Además, esta técnica posibilita la producción de cultivos en áreas donde no existen suelos adecuados por problemas de salinidad, estructura o drenaje. Muchos reportes científicos (Moustafa y Morgan, 1982; Elliot y Nelson, 1983; Woodson y Boodley, 1983; Fleming, *et al.*, 1987; Kasten y Sommer, 1990; Stensvand y Gislerod, 1992) revelan la importancia que reviste la nutrición nitrogenada y la forma iónica en que el N es suministrado ($N-NH_4^+$ o $N-NO_3^-$), en el crecimiento, desarrollo y calidad de flores cortadas de crisantemo cultivado en hidroponía; aunque como lo señala Kafkafi (1990), esto no ha tenido mucho impacto en sistemas agrícolas donde el suelo constituye el soporte de las plantas, puesto que la tasa de nitrificación en condiciones normales es muy rápida y consecuentemente la forma nitrogenada predominante es NO_3^- . La mayoría de las especies vegetales prefieren la forma $N-NO_3^-$, en cambio $N-NH_4^+$ en alta concentración resulta tóxico para su metabolismo (Barker y Mills, 1980), por lo que se ha sugerido no adicionar a la solución nutritiva más de 10 % del contenido de N-total en la forma de $N-NH_4^+$ (Steiner, 1984) y el resto como $N-NO_3^-$. No obstante, se ha demostrado que el ion amonio es preferentemente absorbido por la planta, en lugar de nitrato, cuando su concentración es mayor que 10 % del nitrógeno total presente en la solución (Kafkafi, 1990) y que la adición de amonio a la solución nutritiva en concentraciones menores que 30 % del N-total permite incrementar las tasas de crecimiento en plantas de crisantemo (Elliot y Nelson, 1983), aumentar de 3 a 7 días la precocidad de floración y tener un efecto favorable en el número de inflorescencias/tallo, longitud de tallo y color verde de las hojas (Kasten y Sommer, 1990; Stensvand y

Gisrelod, 1992). Se ha observado que solamente cuando se suministra de 75 a 100 % de N-total en forma de $N-NH_4^+$ en la solución nutritiva, las plantas de crisantemo mueren por toxicidad (Joiner y Knoop, 1969), pero debe considerarse también que la tolerancia a concentraciones de amonio difiere entre variedades de crisantemo (Fleming *et al.*, 1987; Stensvand y Gislerod, 1992). De acuerdo con Steiner (1961), otro factor importante a considerar en la solución nutritiva, lo constituye la concentración iónica total (presión osmótica), dado que determina fuertemente el crecimiento, desarrollo y producción de una planta. En ensayos posteriores Steiner (1973) demostró que la relación mutua de absorción nutrimental (aniones y cationes) está determinada por la fase de crecimiento y por la presión osmótica de la solución nutritiva, la cual depende del tipo de planta y el clima que le rodea. En el presente escrito se constatan los efectos de la concentración de $N-NH_4^+$ en la relación de cationes y $N-NO_3^-$ en la de aniones, suministrados en soluciones nutritivas con diferentes presiones osmóticas, sobre algunas variables morfológicas de crecimiento y floración en tres variedades de crisantemo cultivados en hidroponía por subirrigación.

MATERIALES Y METODOS

Conducción del Experimento

La presente investigación se realizó en el invernadero del Colegio de Postgraduados, ubicado en Chapingo, Edo. de México; del 28 de septiembre al 25 de diciembre de 1994. Los esquejes de crisantemo [*Dendranthema x glandiflorum* (Ramat) Kitam.] de las variedades Puma, Funflower e Improved Funshine fueron enraizados utilizando arena de tezontle, cribada en malla # 10, y empleando condiciones de microaspersión intermitente. En el Cuadro 1, se

Cuadro 1. Características de los esquejes de crisantemo utilizados en el experimento†.

Variedad	Altura	Número de hojas	Longitud de raíz	Número de raíces	Peso fresco total	Peso fresco de raíz	Peso seco total	Peso seco de raíz
	cm		mm		g			
Puma	5.20	8.0	8.78	28	2.18	0.73	0.44	0.11
Funflower	9.22	9.5	6.80	41	2.29	0.79	0.40	0.09
Improved Funshine	7.77	8.8	5.38	43	1.86	0.47	0.40	0.08

† Cada dato es el promedio de seis repeticiones.

detallan algunas características de los esquejes empleados.

Las tres variedades utilizadas son anémonas, de tipo racimo con inflorescencias pequeñas (de ± 4 cm de diámetro) y pertenecen al grupo de respuesta a fotoperíodo de 7.5 semanas. Los esquejes se plantaron a distancias de 15x15x15 cm y el cultivo se condujo en invernadero sin control ambiental, a un solo tallo eliminando únicamente el botón central cuando alcanzó 6 a 8 mm de diámetro; el sistema de soporte para las plantas consistió de una estructura circular (0.25 m de diámetro) de alambre galvanizado. Durante el tiempo de enraizamiento y en las primeras tres semanas después del trasplante, las plantas se mantuvieron en condiciones de días largos, suministrando iluminación nocturna de las 22:00 a las 02:00 horas con intensidad lumínica de 15 W m^{-2} . Posteriormente, con el propósito de inducir la floración, el fotoperíodo se cambió a días cortos con un período de obscuridad ininterrumpido de al menos 12 horas. Los módulos hidropónicos por subirrigación fueron construidos mediante dos recipientes de plástico con capacidad de 20 L, interconectados con manguera hidráulica de 1.25 cm de diámetro. Uno de ellos contenía 18 L de sustrato y el otro, 9.1 L de solución nutritiva. Se utilizó tezontle rojo como sustrato, con una granulometría de 0.2 a 11.5 mm de diámetro (aproximadamente 96 % en el rango de 3.3 a 6.3 mm de diámetro); 0.93 g cm^{-3} de densidad aparente; 63.86 % de porosidad y 18.05 % de retención de humedad con base en peso. El riego fue por subirrigación, diariamente, a las 8:00 y a las 13:00 horas. La temperatura mínima promedio, durante el ensayo, osciló de 8 a 15 °C; la temperatura máxima de 28 a 34 °C y la humedad relativa promedio varió de 50.6 a 68.3 %.

Solución Nutritiva

Después de la plantación, se suministraron riegos diarios durante cuatro días con la solución de Steiner (1984) diluida a 0.36 atm de presión osmótica y al término de este período se establecieron los diferentes tratamientos. Las soluciones nutritivas (Cuadro 2) se prepararon utilizando como base la solución universal de Steiner con sales inorgánicas grado reactivo y agua purificada, por ósmosis inversa, modificándose de acuerdo con los tratamientos empleados, tanto en la relación de aniones y cationes como en la

concentración iónica total (presión osmótica); la formulación original tiene 0.72 atm de presión osmótica. Las concentraciones de los micronutrientes adicionados fueron las siguientes (en ppm): Fe 8, Mn 1.6, Zn 0.023, Cu 0.011 y B 0.865. El Fe fue proporcionado en forma quelatada Fe-EDTA, preparado de acuerdo con la metodología desarrollada por Steiner y Van Winden (1970). La renovación de la solución se efectuó cada dos semanas y el pH de las soluciones nutritivas se ajustó diariamente a 5-5.5, con H_2SO_4 1N o NaOH 1N.

Desarrollo Experimental

Los factores estudiados fueron los siguientes: variedades (Puma, Funflower e Improved Funshine); concentración de N-NH_4^+ en la relación de cationes (1.5, 3.0 y 4.5 meq L^{-1}); concentración de N-NO_3^- en la relación de aniones (10.5 y 13.5 meq L^{-1}) y concentración iónica total (en términos de Presión osmótica): 0.54, 0.72 y 0.90 atm. De acuerdo con los factores en estudio, se empleó un diseño de tratamientos factorial completo $3 \times 3 \times 2 \times 3$, con una distribución en diseño experimental completamente al azar, con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento. La parcela grande correspondió a la solución nutritiva (18 soluciones nutritivas) y las parcelas chicas estuvieron definidas por las tres variedades. De esta combinación resultaron finalmente 54 tratamientos, adicionándose un testigo, que correspondió a la solución nutritiva de Steiner, sin N-NH_4^+ y aumentando la concentración de N-NO_3^- de 12 a 13.5 meq L^{-1} (Cuadro 2).

Durante la etapa reproductiva, a partir del desbotone hasta floración, se disminuyó a 1/3 la concentración de N total (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) en las soluciones nutritivas pero manteniendo la misma relación de cationes y aniones que en la etapa vegetativa. La unidad experimental estuvo constituida por una planta en cada repetición. Los módulos hidropónicos se dispusieron en tres bancales de madera (6.70 m x 0.7 m), elevados a 0.70 m a partir del piso; el ancho de los pasillos fue de 0.75 m. Con los datos de la última observación, se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

Cuadro 2. Composición de las soluciones nutritivas (en meq L⁻¹)†, empleadas durante la etapa vegetativa.

Solución	Presión osmótica	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
	atm							
S1	0.54	7.69	0.732	6.23	3.97	4.92	2.46	3.30
S2	0.72	10.58	0.977	8.30	5.30	6.56	3.28	4.40
S3	0.90	12.82	1.221	10.38	6.63	8.20	4.10	5.50
S4	0.54	7.95	0.757	6.43	4.90	6.07	3.03	1.13
S5	0.72	10.60	1.010	8.58	6.54	8.09	4.04	1.51
S6	0.90	13.25	1.261	10.73	8.17	10.11	5.05	1.90
S7	0.54	7.81	0.745	6.33	4.43	5.48	2.74	2.23
S8	0.72	10.42	0.995	8.44	5.90	7.31	3.66	2.98
S9	0.90	13.05	1.241	10.55	7.38	9.14	4.57	3.72
S10	0.54	9.43	0.700	3.84	3.79	4.69	2.34	3.14
S11	0.72	12.57	0.932	5.12	5.05	6.25	3.12	4.20
S12	0.90	15.72	1.164	6.40	6.32	7.82	3.91	5.24
S13	0.54	9.73	0.720	3.96	4.67	5.78	2.89	1.08
S14	0.72	12.98	0.960	5.28	6.23	7.70	3.95	1.44
S15	0.90	16.22	1.200	6.60	7.78	9.62	4.81	1.80
S16	0.54	9.58	0.710	3.90	4.22	5.22	2.61	2.13
S17	0.72	12.77	0.946	5.20	5.63	6.97	3.48	2.84
S18	0.90	15.96	1.182	6.50	7.04	8.71	4.35	3.55
Testigo	0.72	13.17	0.976	5.36	6.83	8.45	4.23	0.00

† Los valores de las concentraciones de N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ difieren un poco de las concentraciones absolutas propuestas, dado que fueron modificadas al hacer los ajustes por presión osmótica en los grupos de soluciones isotónicas para 0.54, 0.72 ó 0.90 atm.

Medición de Variables Morfológicas

Al momento de la floración se registraron las siguientes variables: Altura de planta, diámetro de tallo, número de nudos, longitud de entrenudos, días a floración y número de inflorescencias/planta e índice de daño foliar. Asimismo, una vez cosechadas se determinó la asignación de materia seca; y para el caso de cuantificar la materia seca producida en las hojas, las plantas se dividieron en dos secciones: basal y apical; el punto de división estuvo situado en la parte media de la longitud del tallo. Se determinó también el peso seco de brotes laterales, tallos, inflorescencias y biomasa total de la parte aérea. Las diferentes secciones de las plantas se lavaron con agua destilada y se secaron en estufa a 70 °C durante 48 horas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Presión Osmótica

La concentración iónica total, en términos de presión osmótica, tuvo efectos significativos solamente sobre el índice de daño foliar, cuyo valor más alto en la escala de 0 a 3, fue 2.5 al emplear 0.90 atm y difiere estadísticamente ($\alpha=0.05$) de 0.54 (2.05) y 0.72 atm (2.25). En ciertos casos, las interacciones Presión

osmótica/Concentración de amonio y Presión osmótica/Variación, fueron significativas lo cual será tratado en un apartado posterior.

Los resultados obtenidos en cuanto a presión osmótica, indican que las plantas de crisantemo toleran un amplio rango de concentraciones de sales en la solución nutritiva siempre y cuando no exceda lo equivalente a 0.9 atm, dado que pueden causar efectos nocivos por la alta cantidad de sales presentes en la solución nutritiva, disminuyendo la absorción de agua por la planta; además influye negativamente en la absorción de Ca²⁺ y SO₄²⁻ (Steiner, 1973). Resultados similares han sido reportados por Rutland (1972) en crisantemo estándar var. Columbia. Los efectos detrimentales de una elevada presión osmótica pueden reducirse al incrementar la frecuencia y número de riegos al cultivo (Baca, 1983), lo cual adquiere importancia en regiones con agua salina. En nuestro estudio, las soluciones nutritivas con 1.5, 3.0 y 4.5 meq L⁻¹ de N-NH₄⁺ en la etapa vegetativa, y de 0.5, 1.0 y 1.5 meq L⁻¹ de N-NH₄⁺ en la etapa reproductiva, empleando el conductímetro Dist 4, marca Hanna, un nivel de 0.54 atm correspondió a una lectura de 2.2 ± 0.2 dS m⁻¹; 0.72 atm a 2.8; y 0.90 atm a 3.6. A pesar de que la resistencia de los tallos fue mejor cuando se empleó 0.72 y 0.90 atm, ocurrieron síntomas de quemaduras en las hojas, lo cual concuerda con lo

reportado por Moustafa y Morgan (1982). Asimismo, no se encontró interacción significativa entre variedades y concentraciones de la solución nutritiva, concordando con lo obtenido por Gislerod y Selmer-Olsen (1980). Aunque el contenido de lignina no fue cuantificado, se observó en forma general que al aumentar la concentración de sales en la solución, los tallos fueron endurecidos, lo que permite inferir que la lignificación fue mayor y, por tanto, deberá ser otro aspecto importante a considerar en futuras investigaciones; pues un alto grado de lignificación disminuye la absorción de agua por los tallos después de ser cosechados, abatiendo la longevidad de las flores cortadas (Kofranek, 1980).

Concentración de Nitratos en la Relación de Aniones

En las variables de respuesta cuantificadas, no se detectaron diferencias estadísticas en el análisis de varianza para la concentración de $N-NO_3^-$, sugiriendo que ambos niveles probados (10.5 y 13.5 meq L^{-1}) pueden emplearse en cultivos hidropónicos de crisantemo sin demérito de la calidad. Tampoco hubo diferencias estadísticas para la interacción $N-NO_3^-/N-NH_4^+$. Resultaría conveniente que en futuras investigaciones se considere un mayor rango de proporciones de $N-NO_3^-$ que los examinados en esta investigación.

Concentración de Amonio en la Relación de Cationes

Las concentraciones de $N-NH_4^+$ suministradas en la solución nutritiva ocasionaron diferencias significativas en todas las variables, con excepción del número de nudos y diámetro de inflorescencias. Las

concentraciones de amonio de 3 y 4.5 meq L^{-1} permitieron mayor crecimiento, longitud de entrenudos y de pedúnculo floral (Cuadros 3 y 4). Estos niveles de amonio favorecieron mayor altura de planta con valores de 75.41 y 72.58 cm, respectivamente; superando estadísticamente a 1.5 meq L^{-1} , con 68.6 cm (Cuadro 3).

Asimismo, la longitud del pedúnculo floral se favoreció al incrementar la concentración de amonio al nivel más alto (4.5 meq L^{-1}), y difiere significativamente de las demás concentraciones de amonio; además permitió una precocidad en floración de dos días con relación a 1.5 meq L^{-1} (Cuadro 4).

Es importante señalar que en todos los tratamientos con amonio se observaron daños en las hojas basales, manifestándose inicialmente como puntos esparcidos en la lámina foliar, y después se tornaron necróticos. Con el tiempo, estos síntomas progresaron hacia arriba de la parte media de la planta y eventualmente afectaron todo el follaje. Otro síntoma característico fue la marchitez foliar exhibida por las plantas durante el día. Presumiblemente, este daño sea debido en su mayor parte a la toxicidad por amonio, más que por la presión osmótica, puesto que las plantas en el tratamiento testigo con 0.72 atm y sin amonio, no presentaron estos síntomas, dando un índice de daño foliar muy bajo (0.6). Por lo tanto, se deduce que la presión osmótica sí afectó pero en menor grado que la concentración de amonio. Las hojas se tornaron gruesas y correosas cuando la concentración de amonio y presión osmótica aumentaron en la solución, por lo cual el índice de daño foliar también incrementó. Se ha señalado que las variedades de crisantemo sensibles a sequía son más susceptibles a la toxicidad por amonio y concentraciones tan altas como 180 mg L^{-1} (10 meq L^{-1} de amonio), reducen el crecimiento y dañan severamente el follaje (Fleming *et al.*, 1987); también

Cuadro 3. Número de nudos, longitud de entrenudos, altura de planta, índice de daño y diámetro de inflorescencia, en crisantemo† al momento de la cosecha, empleando diferentes Concentraciones de amonio:cationes en la solución nutritiva.

Concentración de amonio meq L^{-1}	Número de nudos	Longitud de entrenudos ----- cm -----	Altura de planta	Índice de daño	Diámetro de inflorescencia mm
1.5	38.13 a	1.63 b	68.63 b	1.87 b	3.78 a
3.0	38.14 a	1.73 a	72.58 a	2.22 b	3.48 b
4.5	39.05 a	1.71 ab	75.41 a	2.72 a	3.51 b
DMS	1.38	0.086	3.66	0.38	0.088

† Cada dato es el promedio de tres variedades.

Valores seguidos de letras iguales significa no diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.05$).

Cuadro 4. Días a floración, longitud del pedúnculo floral, diámetro de racimo, número de inflorescencias y peso fresco de biomasa aérea, en crisantemo al momento de la cosecha, utilizando diferentes Concentraciones de amonio:cationes† en la solución nutritiva.

Concentración de amonio meq L ⁻¹	Días a floración	Longitud. del pedúnculo floral cm	Diámetro de racimo	Número de inflorescencias	Peso fresco de biomasa aérea g planta ⁻¹
1.5	84.11 a	7.29 b	13.81 b	36.64 b	71.64 b
3.0	83.13 ab	7.98 b	17.22 a	45.35 a	81.75 ab
4.5	82.26 b	9.14 a	17.18 a	49.07 a	88.13 a
DMS	1.58	0.754	10.27	6.72	10.27

†Cada dato es el promedio de tres variedades.

Valores seguidos de letras iguales significa no diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.05$)

el daño es intensificado cuando se disminuyen los niveles de K⁺ en la solución y los iones NH₄⁺ son más tóxicos cuando se aplican como única fuente de N, que si se suministran en combinación con iones NO₃⁻ (Nelson y Kuo-Hsieh, 1971; Lips *et al.*, 1990).

Las relaciones amonio:cationes, estudiadas en esta investigación, siempre estuvieron en combinación con 10.5 ó 13.5 meq L⁻¹ de nitrato en la relación de aniones, disminuyendo en cierto grado el efecto nocivo del suministro de amonio a la solución.

La biomasa aérea total, en términos de peso fresco (Cuadro 4) y seco (Cuadro 5) fue mayor significativamente con el nivel más alto de amonio, es decir a mayor concentración de amonio, mayor fue la acumulación de materia seca total. Estos resultados son consistentes, dado que en las tres variedades tienen la misma tendencia en las diferentes partes aéreas seccionadas como son: tallo, hojas, brotes laterales e inflorescencias. Con la concentración de 4.5 meq L⁻¹ de amonio, la producción de biomasa seca ascendió a 17.28 g planta⁻¹, como promedio de tres variedades y superó en forma significativa a 1.5 y 3 meq L⁻¹ con 13.01 y 15.35 g planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 5). La estimulación del crecimiento obtenido por la adición de iones amonio a una solución con nitratos, puede explicarse por un aumento en el suministro de

N orgánico translocado desde las raíces a los brotes vegetativos (Elliot y Nelson, 1983). Las plantas requieren detoxificar la entrada de amonio, mediante su asimilación en componentes orgánicos, y este proceso requiere un suministro de carbohidratos a la raíz, provenientes de la parte aérea, que aporte esqueletos carbonados para la asimilación de amonio (Lips *et al.*, 1990). Al respecto, Ganmore-Neumann y Kafkafi (1983) concluyeron que las plantas de fresa pueden usar eficientemente el amonio a temperaturas relativamente bajas, cuando las reservas de azúcares en la raíz son adecuadas; sin embargo, a altas temperaturas, los iones NH₄⁺ afectan adversamente el contenido de azúcares en las raíces y de esta forma, los iones NO₃⁻ son preferidos.

Por otro lado, cabe destacar que la ramificación fue un componente importante de la biomasa aérea, llegando a constituir hasta 33 % del total, para el nivel más alto de amonio (4.5 meq L⁻¹). Se infiere entonces, que al haber mayor ramificación, se favoreció un mayor diámetro de racimo, aumentó el número de inflorescencias por planta y consecuentemente también se incrementó el peso seco de las mismas (Cuadro 4 y 5). Elliot y Nelson (1983) encontraron también que la adición de N-NH₄⁺ a una solución nutritiva con N-NO₃⁻, estimuló el desarrollo inicial de yemas

Cuadro 5. Efecto del suministro de las Concentraciones de amonio:cationes en la solución nutritiva, sobre el peso seco de biomasa aérea y partes que la componen, en plantas de crisantemo† al momento de la cosecha.

Concentración de amonio meq L ⁻¹	Peso seco				
	Tallo	Hojas	Brotes laterales	Inflorescencias	Biomasa aérea
	g planta ⁻¹				
1.5	3.289 b	2.953 b	3.373 c	3.398 b	13.014 c
3.0	3.692 b	3.055 ab	4.654 b	3.955 ab	15.357 b
4.5	4.241 a	3.175 a	5.814 a	4.054 a	17.285 a
DMS	0.414	0.217	0.994	0.624	1.788

† Cada dato es el promedio de tres variedades.

Valores con letras iguales significa no diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.05$).

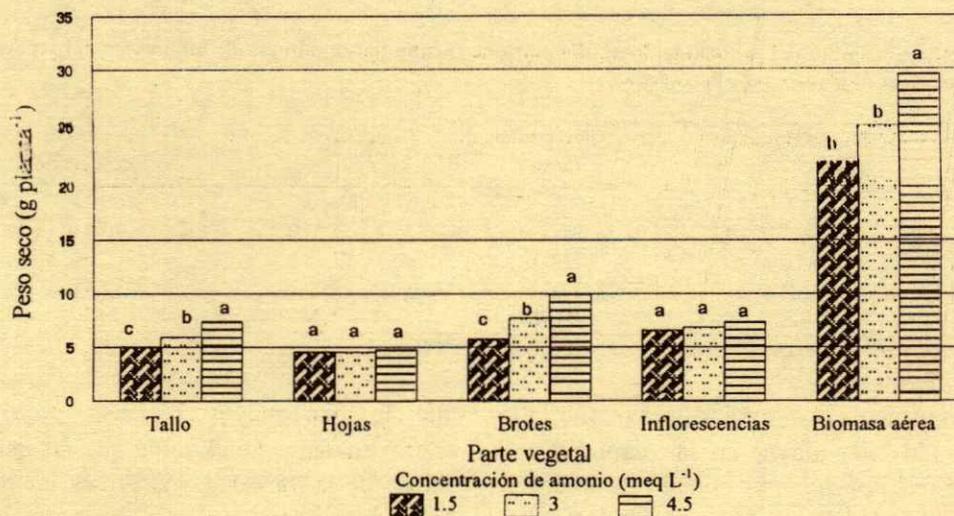


Figura 1. Influencia de la concentración de amonio (meq L^{-1}) en la asignación de materia seca (g planta^{-1}) al momento de la cosecha en crisantemo var. Puma. Barras con letras iguales significan no diferencias estadísticas ($P=0.05$) entre niveles de amonio, para una parte de la planta.

axilares en crisantemo; pero esto no sucedió cuando hubo condiciones ambientales menos favorables para el crecimiento vegetal, como baja intensidad lumínica asociada con alta temperatura. Below y Heberer (1990) también sostienen que el crecimiento vegetativo es el estado más crítico para suministrar N en forma combinada y obtener los máximos rendimientos en trigo. No obstante, las hojas constituyeron la parte vegetal de menor acumulación de materia seca, aunque sin diferir significativamente de aquella obtenida en tallo (Figura 1). Woodson y Boodley (1983), encontraron en crisantemo var. Indianapolis white Gt.#1, en estado de inflorescencia madura, que las tasas de acumulación de materia seca tanto en hojas como en la inflorescencia fueron muy altas, mientras que en tallo no hubo incrementos, demostrando que la capacidad fotosintética en éste excede a la demanda metabólica de la planta. En la misma figura se aprecia que la acumulación de materia seca aérea total y de las diferentes partes que la componen se incrementó al

eleva el nivel de amonio en la solución nutritiva de 1.5 a 3.0 y 4.5 meq L^{-1} ; de forma similar, a pesar de que el área foliar no fue cuantificada, fue notorio su incremento, sobretodo en la variedad Puma.

Variedades

El factor variedad constituyó la fuente de variación más expresada en el experimento; ya que hubo diferencias estadísticas significativas ($\alpha=0.05$) en todas las variables morfológicas medidas en el ensayo. De las variedades estudiadas puede observarse que la variedad Puma, a pesar de haber tenido el más alto índice de daño foliar, es la que sobresale significativamente en los valores de las variables cuantificadas, lo cual concuerda con el vigor excepcional observado durante su cultivo. La altura de planta fue superior en la var. Puma (Cuadro 6), con una media de 76.7 cm y difiere estadísticamente de Funflower (68.7 cm) pero

Cuadro 6. Número de nudos, longitud de entrenudos, altura de planta, índice de daño y diámetro de inflorescencia en las tres variedades de crisantemo empleadas en el experimento*.

Variedad	Número de nudos	Longitud de entrenudos	Altura de planta	Índice de daño	Diámetro de inflorescencias
		----- cm -----			
					mm
Puma	41.0 a	1.64 b	76.7 a	2.66 a	3.78 a
Funflower	35.5 c	1.74 a	68.7 b	1.92 c	3.48 b
Improved Funshine	38.7 b	1.69 ab	71.1 b	2.22 b	3.51 b
DMS	1.33	0.058	2.98	0.238	0.088

* Letras iguales significa no diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.05$).

Cuadro 7. Días a floración, longitud del pedúnculo floral, diámetro de racimo floral, número de inflorescencias y peso fresco total de las tres variedades de crisantemo al momento de la cosecha*.

Variedad	Días a floración	Long. del pedúnculo floral	Diámetro de racimo floral	Número de inflorescencias	Peso fresco total	
		----- cm -----				g planta ⁻¹
Puma	79.7 b	9.65 a	21.04 a	61.74 a	141.35 a	
Funflower	84.6 a	7.30 b	13.18 b	31.70 c	43.79 c	
Improved Funshine	85.1 a	7.46 b	13.99 b	37.63 b	56.38 b	
DMS $\alpha=0.05$	0.82	0.678	1.74	5.62	10.26	

* Valores seguidos con letras iguales significa no diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha=0.05$).

no de Improved Funshine (71.1 cm). A pesar que la longitud de entrenudos fue mayor en las variedades Funflower e Improved Funshine, el número de nudos fue superior en la variedad Puma (41 nudos), lo cual explica el por qué esta variedad presentó una mayor altura. Dicha variedad resultó ser 5 días más precoz que las demás (Cuadro 7), debiéndose tener en consideración como un aspecto que permite mayor rentabilidad de la superficie, cuando se cultiva crisantemo durante todo el año. Indudablemente, a pesar que las tres variedades pertenecen a un mismo grupo de respuesta a fotoperíodo (7.5 semanas), éste pudo modificarse por la temperatura ambiental que imperó durante el experimento (Nelson, 1985); y también por la adición de amonio (Kasten y Sommer, 1990). Las tres variedades exhiben inflorescencias de diámetro pequeño, y aun cuando el análisis de varianza detectó diferencias estadísticas de la variedad Puma contra las otras variedades (Cuadro 6), no son de gran impacto en la producción comercial, pues el valor máximo fue 3.78 mm (Puma) y el valor mínimo de 3.48 mm (Funflower). La longitud del pedúnculo floral fue significativamente mayor en Puma (9.65 cm) y no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 7) entre las variedades Funflower (7.3 cm) e Improved Funshine (7.46 cm).

Puma fue la variedad más vigorosa, sucediéndole la Improved Funshine y Funflower; consecuentemente,

fue la que mayor biomasa seca aérea produjo (aproximadamente el doble que las demás). Indistintamente de la variedad, los brotes laterales acumularon la mayor cantidad de biomasa siguiéndole las inflorescencias, tallo y hojas (Cuadro 8; Figura 2). De esta forma, una mayor ramificación coincide con un aumento en el número de inflorescencias totales y un mayor diámetro de racimo. La variedad Puma tiene mayor potencialidad para producir inflorescencias, con una media general de 61.74 inflorescencias, y estadísticamente difiere de las obtenidas en Improved Funshine (37.63) y Funflower (31.7).

Interacción Presión Osmótica*Concentración de Amonio

En esta interacción las variables que resultaron significativas ($\alpha=0.05$) fueron: Longitud de entrenudos, altura de planta, peso fresco y seco de biomasa aérea, peso seco de hojas, peso seco de brotes laterales y peso seco de inflorescencias. Los valores de las variables significativas se incrementaron conforme el nivel de amonio es mayor, pero las diferencias estadísticas para el efecto de la interacción Presión Osmótica*Concentración de Amonio, sucedieron en su mayoría con el nivel más bajo de presión osmótica (0.54 atm), como se observa en el Cuadro 9. Con

Cuadro 8. Asignación de la biomasa aérea al momento de la cosecha en las tres variedades de crisantemo empleadas en el experimento*.

Variedad	Tallo	Hojas	Peso seco			Biomasa aérea
			Brotes laterales	Inflorescencias		
	----- g planta ⁻¹ -----					
Puma	6.12 a	4.62 a	7.81 a	6.96 a	25.52 a	
Funflower	2.24 c	1.97 c	2.74 b	2.09 b	9.05 c	
Improved Funshine	2.85 b	2.59 b	3.28 b	3.34 b	11.08 b	
DMS $\alpha=0.05$	0.32	0.252	1.065	0.568	1.847	

* Letras iguales significa no diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.05$).

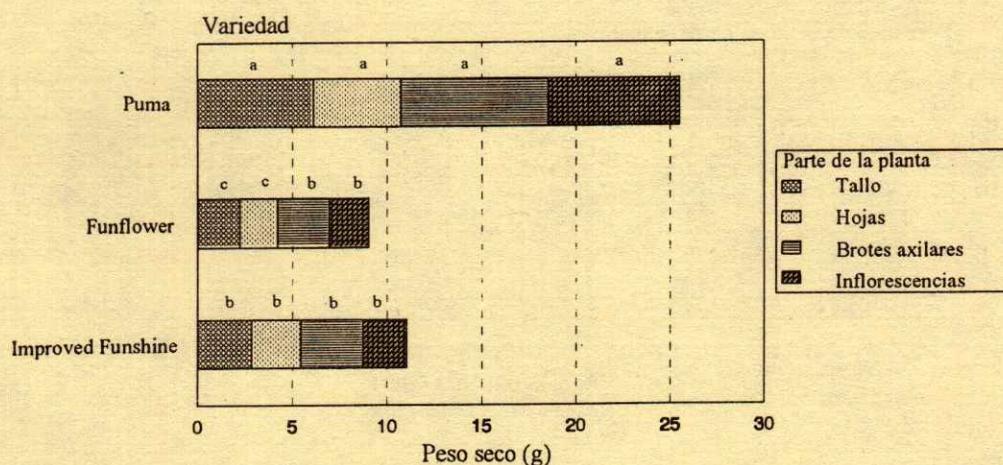


Figura 2. Asignación de la biomasa aérea en tres variedades de crisantemo tipo racimo. Letras iguales significan no diferencias estadísticas ($P=0.05$) entre variedades, para una parte vegetal dada.

0.72 atm resultaron diferencias estadísticas, únicamente para peso seco de brotes laterales (Figura 3) y peso seco de biomasa aérea, entre niveles de amonio. Utilizando 0.54 atm y 1.5 meq L^{-1} de amonio se obtuvo la menor altura de planta (64.34); pero adicionando 3 y 4.5 meq L^{-1} de amonio con este valor de presión osmótica, las plantas fueron significativamente más altas, dando valores de 72.06 y 77.78 cm, respectivamente (Cuadro 9). Es evidente que con 0.9 atm, no hubo diferencias estadísticas entre las concentraciones de amonio para las diferentes variables medidas; por tanto, altas presiones osmóticas de la solución nutritiva disminuyen el efecto del amonio y no así cuando se emplean niveles bajos, donde ocurre una manifestación positiva a los incrementos en el nivel de amonio. La talla de las plantas tiende a ser más compacta y las raíces de menor crecimiento con soluciones

concentradas (Gislerod y Selmer-Olsen, 1980; Steiner, 1973), pero también existe un efecto asociado del nivel de amonio presente en la solución. Asimismo, las diferencias estadísticas para el peso fresco de biomasa aérea se obtuvieron con 0.54 atm, mientras que con 0.72 y 0.90 atm, resultaron valores similares. En condiciones de 0.54 atm, el máximo valor de biomasa fresca sucedió con 4.5 meq L^{-1} de amonio, como resultado de mayor producción de materia seca y posiblemente de mayor absorción de agua en comparación con 0.90 atm.

La acumulación de materia seca aérea total y de las diferentes partes que la componen (Cuadro 9), se incrementó conforme la concentración de amonio en la solución nutritiva fue mayor, sobretodo a presiones osmóticas de 0.54 y 0.72 atm, habiéndose obtenido mayor cantidad de biomasa al combinar estos niveles

Cuadro 9. Resultados de la interacción Presión osmótica*Concentración de amonio de la solución nutritiva sobre algunas variables morfológicas de crecimiento de crisantemo, evaluadas al momento de la cosecha.

Presión osmótica	Concentración de amonio	Longitud de entrenudos	Altura de planta	Peso fresco de biomasa aérea	Hojas	Brotes laterales	Peso seco			Biomasa aérea total
							Tallo	Inflorescencias	Biomasa aérea total	
atm	meq L^{-1}	cm	cm	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹
0.54	1.5	1.57 b	64.34 b	55.51 b	2.74 b	2.17 c	3.06 a	2.61 b	10.59 c	
0.54	3.0	1.75 a	72.06 a	78.42 a	3.09 ab	4.24 b	3.52 a	3.89 ab	14.75 b	
0.54	4.5	1.79 a	77.78 a	95.14 a	3.39 a	6.86 a	4.31 a	4.28 a	18.86 a	
0.72	1.5	1.66 a	70.82 a	75.19 a	3.04 a	3.54 b	3.36 a	3.54 a	13.49 b	
0.72	3.0	1.71 a	71.82 a	83.68 a	3.00 a	5.07 ab	3.78 a	4.00 a	15.86 ab	
0.72	4.5	1.73 a	76.68 a	89.00 a	3.23 a	5.59 a	4.46 a	4.16 a	17.45 a	
0.90	1.5	1.67 a	70.75 a	84.22 a	3.07 a	4.40 a	3.44 a	4.03 a	14.95 a	
0.90	3.0	1.72 a	73.87 a	83.13 a	3.07 a	4.63 a	3.77 a	3.96 a	15.45 a	
0.90	4.5	1.61 a	71.76 a	80.26 a	2.89 a	4.98 a	3.94 a	3.71 a	15.53 a	

Valores seguidos con letras iguales significan no diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.05$) entre niveles de amonio, dentro de una presión osmótica dada.

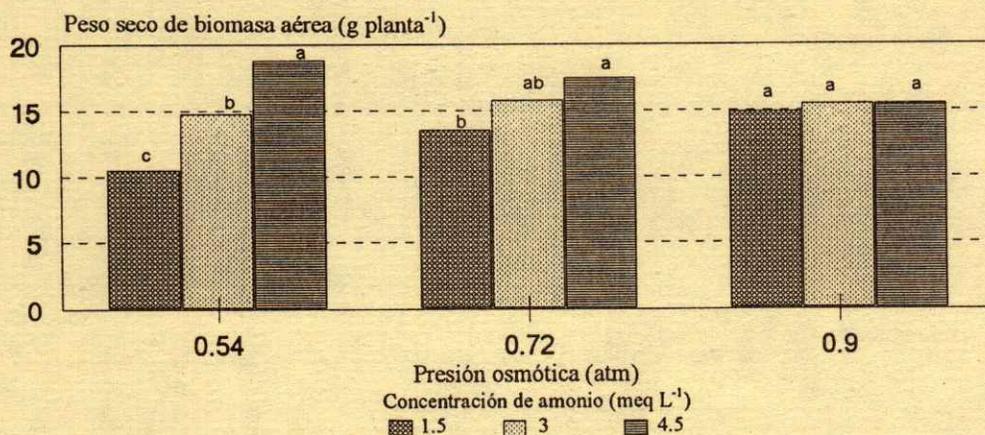


Figura 3. Influencia de la interacción Presión osmótica*Concentración de amonio en la solución nutritiva, sobre la biomasa seca aérea de crisantemo. Cada dato es el promedio de tres variedades. Letras iguales significan no diferencias estadísticas ($P=0.05$) entre concentraciones de amonio dentro de una presión osmótica.

osmóticos con 3.0 y 4.5 meq L⁻¹ de N-NH₄⁺. Con una presión osmótica alta (0.90 atm), la acumulación de materia seca (Figura 3) prácticamente permaneció constante al suministrar diferentes niveles de amonio, infiriéndose que altas presiones osmóticas de la solución nutritiva no permitieron que se expresara el efecto del amonio, posiblemente por que disminuyó su absorción por las plantas. Una componente importante de la asignación de la materia seca fue la ramificación lateral, la cual se incrementó significativamente cuando el nivel de amonio en la solución se incrementó de 1.5 a 4.5 meq L⁻¹ (Figura 4).

Es importante recalcar que el experimento se condujo en las épocas de verano y parte de otoño; consecuentemente los resultados obtenidos podrían

variar en otras épocas y/o localidades geográficas. Steiner (1973) menciona que la presión osmótica de la solución nutritiva deberá ser más alta en época de invierno que en verano y generalmente más alta en regiones templadas que en regiones tropicales, para evitar plantas altas y delgadas. Señala además que este manejo en la presión osmótica permite mayor precocidad en la floración de tomate, aun cuando las causas de este fenómeno sean desconocidas. Sin embargo, en crisantemo no hubo variaciones significativas en días a floración por aumento en la presión osmótica, lo cual estuvo más influenciado por las variedades y por las concentraciones de amonio (Cuadros 4 y 7). Con base en lo anterior, los mejores resultados en las variables de respuesta que fueron

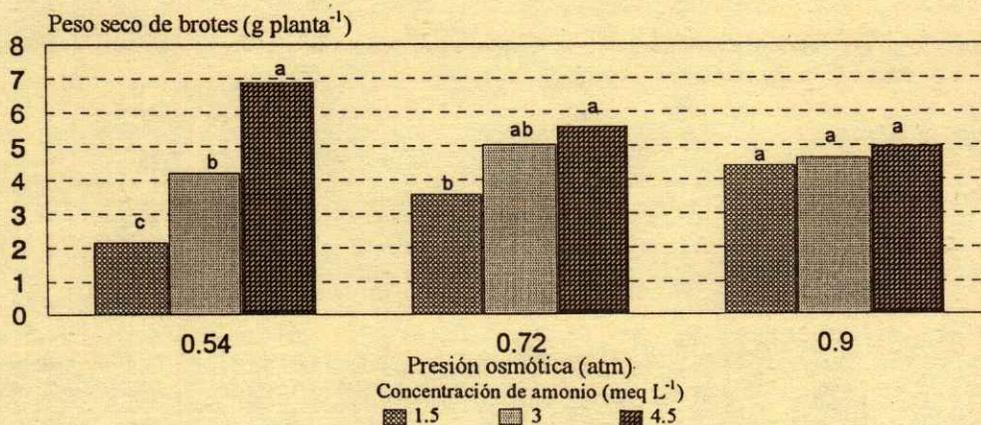


Figura 4. Efecto de la interacción Presión osmótica*Concentración de amonio en la solución nutritiva sobre el peso seco de brotes en crisantemo. Letras iguales significan no diferencias estadísticas ($P=0.05$) entre proporciones de amonio dentro de una presión osmótica. Cada dato es el promedio de tres variedades.

Cuadro 10. Influencia de la interacción Variedad*Concentración de amonio sobre algunas variables de crecimiento, en crisantemo al momento de la cosecha.

Variedad	Concentración de amonio	Altura de planta	Longitud de entrenudos)	Longitud pedúnculo floral	Inflorescencias totales	Tallo	Peso seco Brotes laterales	Biomasa aérea total
	meq L ⁻¹	cm	cm				g planta ⁻¹	
Puma	1.5	72.7 b	1.52 b	7.72 b	49.61 c	5.04 c	5.76 c	22.01 b
	3.0	76.1 ab	1.65 ab	8.96 b	61.77 b	5.92 b	7.70 b	25.00 b
	4.5	81.3 a	1.74 a	12.27 a	73.83 a	7.40 a	9.97 a	29.55 a
Funflower	1.5	62.6 b	1.67 a	6.97 a	23.11 b	1.89 a	1.43 b	6.39 b
	3.0	70.5 a	1.80 a	7.35 a	36.55 a	2.37 a	2.84 ab	9.76 a
	4.5	73.0 a	1.76 a	7.58 a	35.44 a	2.47 a	3.95 a	11.01 a
Improved Funshine	1.5	70.5 a	1.71 a	7.18 a	37.22 a	2.93 a	2.92 a	10.63 a
	3.0	71.1 a	1.73 a	7.63 a	37.72 a	2.77 a	3.41 a	11.31 a
	4.5	71.8 a	1.64 a	7.56 a	37.94 a	2.85 a	3.51 a	11.29 a

Valores seguidos con letras iguales significan no diferencias estadísticas (Tukey DSH $\alpha=0.05$) entre niveles de amonio para una variedad determinada.

significativas estadísticamente para la interacción Presión Osmótica/Concentración de Amonio, se obtuvieron al combinar una presión osmótica baja (0.54 atm) o intermedia (0.72 atm) con un nivel de 3 ó 4.5 meq L⁻¹ de amonio. Sin embargo, considerando que la concentración de 4.5 meq L⁻¹ de amonio, en combinación con una presión osmótica intermedia (0.72 atm) o alta (0.90 atm), provocó daños a nivel del cuello de las plantas de crisantemo sobretodo en la variedad Puma, se supone que la mejor combinación es 4.5 meq L⁻¹ de amonio y presión osmótica de 0.54 atm.

Interacción Concentración de Amonio*Variedad

De las tres variedades examinadas en el experimento, Puma y Funflower fueron las únicas que mostraron diferencias significativas para la interacción Concentración de amonio/Variedad en algunas variables respuestas, aunque fueron más contundentes en la primera (Cuadro 10). En Improved Funshine existió un ligero incremento en la altura de planta conforme se aumentó el nivel de amonio, pero no fue significativo. Las mayores alturas en las variedades ensayadas se obtuvieron con 4.5 meq L⁻¹ de amonio permitiendo valores de 81.38, 73.05 y 71.81 cm para las variedades Puma, Funflower e Improved Funshine, respectivamente; sin embargo, estas alturas no difirieron significativamente de aquellas obtenidas con 3 meq L⁻¹ de amonio, pero para el caso de las dos primeras variedades, sí existieron diferencias estadísticas entre las concentraciones de 1.5 y 4.5 meq L⁻¹ de amonio (Cuadro 10); este último nivel permitió una ganancia de 10.6 % de altura en Puma y 14.2 % en Funflower con respecto a 1.5 meq L⁻¹ de amonio.

La longitud del pedúnculo floral y longitud de entrenudos se vio favorecida con los incrementos en la proporción de amonio (Cuadro 10). El efecto interactivo sucedió en las variedades Puma y Funflower con las concentraciones de amonio y no así para Improved Funshine. El número de inflorescencias/planta en la variedad Puma fue significativamente diferente en los tres niveles de amonio; con el nivel más bajo (1.5 meq L⁻¹), se obtuvieron en promedio 49.6 inflorescencias/planta; con el nivel intermedio (3.0 meq L⁻¹), 61.77 y para el nivel alto (4.5 meq L⁻¹), 73.3; paralelamente, en Funflower, con la concentración intermedia de amonio se logró la mayor cantidad de inflorescencias/planta (36.55) y difiere estadísticamente del nivel bajo de amonio con 23.11 inflorescencias/planta, pero no del nivel más alto de amonio (35.44).

La adición de amonio a soluciones isotónicas de 0.72 atm, en combinación con nitrato, permitió obtener plantas más altas y de pedúnculos florales más largos que aquellos obtenidos al emplear solamente nitrato como fuente nitrogenada. A su vez, ocasionó mayor acumulación de materia seca en hojas y brotes laterales, incrementando finalmente la biomasa de parte aérea. Al menos en las variedades Puma y Funflower, los pesos secos de tallo, brotes laterales y biomasa aérea, difieren estadísticamente entre las concentraciones de amonio. Por tanto, al aumentar el nivel de amonio, se incrementó significativamente el peso seco del dosel vegetal en Puma y Funflower (Cuadro 10).

CONCLUSIONES

La respuesta de la mayoría de las variables morfológicas del crecimiento a la presión osmótica de la solución nutritiva se manifestó en forma interactiva con la concentración de amonio de dicha solución, los valores de las variables se incrementaron conforme aumentó la concentración de amonio, de 1.5 a 3.0 y a 4.5 meq L⁻¹ en la relación de cationes (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + NH₄⁺), primordialmente con el nivel más bajo de la presión osmótica : 0.54 atm.

Los valores de altura de planta, longitud del pedúnculo floral, diámetro del racimo y número de inflorescencias mayores, se obtuvieron con las concentraciones de 3.0 y 4.5 meq L⁻¹ de amonio en la relación de cationes (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + NH₄⁺) de la solución nutritiva.

En todas las variables del crecimiento evaluadas, las variedades de crisantemo Puma y Funflower respondieron interactivamente con la concentración de amonio en la solución nutritiva, particularmente en la variedad Puma, los valores mayores se obtuvieron con 4.5 meq L de amonio en la relación de cationes (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + NH₄⁺) de la solución nutritiva.

En las variables respuestas cuantificadas no se encontraron diferencias causadas por las concentraciones probadas de nitrato en la relación de aniones (NO₃⁻ + H₂PO₄⁻ + SO₄²⁻) : 10.5 y 13.5 meq L⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Baca C., G.A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Barker, V.A. y H.A. Mills. 1980. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops. Hort. Rev. 2: 395-423.
- Below, E.F. y J.A. Heberer. 1990. Time of availability influences mixed-nitrogen-induced increases in growth yield of wheat. J. Plant Nutri. 13: 667-676.
- De Visser, J.A. y A.T.M. Hendrix. 1987. Economic aspects of growing systems for year round chrysanthemums. Acta Horticulturae 197: 11-114.
- Elliot, C.G. y P.V. Nelson. 1983. Relationships among nitrogen accumulation, nitrogen assimilation and plant growth in chrysanthemums. Physiol. Plant. 57: 250-259.
- Fleming, L.A., D.T. Krizek y R.M. Mirecki. 1987. Influence of ammonium nutrition on the growth and mineral composition of two chrysanthemum cultivars differing in drought tolerance. J. of Plant Nutrition 10: 1869-1881.
- Ganmore-Neumann, R. y U. Kafkafi. 1983. The effect of root temperature and NO₃⁻/NH₄⁺ ratio on strawberry plants I. Growth, flowering and root development. Agron. J. 75: 941-947.
- Gislerod, R.H. y A.R. Selmer-Olsen 1980. The responses of chrysanthemum to variations in salt concentration when grown in recirculated nutrient solution. Acta Horticulturae 98: 201-209.
- Joiner, J.N. y W.E. Knoop. 1969. Effects of ratios of NH₄ to NO₃ and levels of N and K on chemical content of *Chrysanthemum morifolium* "Bright Goden Ann". Proc. Fla. State Hort. Soc. 82: 403-440.
- Kafkafi, U. 1990. Root temperature, concentration and the ratio NO₃⁻/NH₄⁺ effect on plant development. J. of Plant Nutrition 13: 1291-1306.
- Kasten, P. y K. Sommer. 1990. Cultivation of cut flowers with ammonium as nitrogen source. pp. 533-537. In: M.L. Van Beusichem (ed.). Plant nutrition, physiology and application. Kluwer Acad. Pub.
- Kofranek, M.A. 1980. Cut chrysanthemums. pp. 3-45. In: R.A. Larson. Introduction to floriculture. Academic Press.
- Lips H.S., E.O. Leidi, M. Silberbush, M.I.M. Soares y O.E.M. Lewis. 1990. Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. J. of Plant Nutrition 13: 1271-1289.
- Moustafa, A.T. y J.V. Morgan. 1982. Influence of solution concentration on growth, flower quality and nutrient uptake in spray chrysanthemum. Acta Horticulturae 133: 13-24.
- Nelson, P.V. 1985. Greenhouse operation and management. Third Edition. Reston Pub. Co. Inc., U.S.A.
- Nelson, P.V. y H. Kuo-Hsieh. 1971. Ammonium toxicity in chrysanthemum: Critical level and symptoms. Comm. in Soil Science and Plant analysis 2: 439-448.
- Rutland, R.B. 1972. Salt induced water stress as a determinant of flower quality and longevity in chrysanthemums. HortScience 7: 57-59.
- Stensvand, A. y H.R. Gislerod. 1992. The effect of the NO₃⁻/NH₄⁺ ratio of the nutrient solution on growth and mineral uptake in *Chrysanthemum morifolium*, *Passiflora caerulea* and *Cordyline fruticosa*. Gartenbauwissenschaft 57: 193-198.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil XV: 134-154.
- Steiner, A.A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. pp. 43-54. In: Proceedings of the 3rd International Congress on Soilless Culture. IWOSC. Sassari, Italy.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-649. In: Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands
- Steiner, A.A. y H. van Winden. 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. Plant Physiol. 46: 862-863.
- Van Os, E.A. 1986. Technical and economical consequences and mechanization aspects of soilless growing systems. Acta Horticulturae 178: 85-86.
- Woodson, W.R. y J.W. Boodley. 1983. Accumulation and partitioning of nitrogen and dry matter during the growth of *Chrysanthemum*. HortScience 18: 196-197.

AMONIO/NITRATO Y CONCENTRACION IONICA TOTAL DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN CRISANTEMO.

II. EXTRACCION NUTRIMENTAL DE HOJAS

Ammonium/nitrate Ratio and Total Ion Concentration in the Nutrient Solution on Chrysanthemum Growth.

II. Nutrient Uptake in Leaves

Rubén Bugarín M.¹, Gustavo A. Baca C., Jesús Martínez H. y Juan L. Tirado T.

RESUMEN

Se estudiaron los efectos del suministro de diferentes concentraciones de $N-NH_4^+$ en la solución nutritiva en combinación con concentraciones de $N-NO_3^-$ y diferentes presiones osmóticas sobre las concentraciones y extracciones nutrimentales en crisantemo var. Puma. Las plantas fueron cultivadas en un sistema hidropónico por subirrigación, empleando tezontle rojo como substrato y la solución nutritiva universal de Steiner. Al incrementar la presión osmótica de 0.54 a 0.90 atm, disminuyeron las concentraciones de Ca y Mg en las hojas; los demás nutrimentos no fueron afectados por los valores osmóticos de la solución. Las extracciones de K, Mg y Mn fueron mayores en hojas basales y la absorción total en hojas se incrementó significativamente al elevar el suministro de $N-NO_3^-$ de 10.5 a 13.5 meq L^{-1} en combinación con la relación alta de $N-NH_4^+$. Las concentraciones de amonio (1.5, 3.0 y 4.5 meq L^{-1}) en los diferentes tratamientos permitieron obtener diferencias estadísticas en las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Mn y Zn. En términos de extracción nutrimental a nivel de hojas, también hubo diferencias significativas para estos nutrimentos incluyendo el N y cantidades mayores que 1.5 meq L^{-1} amonio estimularon mayor absorción de N. En la solución abastecida sólo con $N-NO_3^-$ como fuente nitrogenada, las concentraciones de Ca y Mg en las hojas fueron superiores en comparación de aplicar una combinación de $N-NO_3^-/N-NH_4^+$.

Palabras clave: *Dendranthema x grandiflorum*, hidroponía, macronutrimentos, micronutrimentos

¹ Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
rbugarin@nayar.uan.mx

Aceptado: Abril de 1998.

SUMMARY

Different ratios of $N-NH_4^+$ in the nutrient solution combined with $N-NO_3^-$ ratios and different osmotic pressure were studied in order to determine their effects on the concentrations and nutrimental extractions of chrysanthemum cv. Puma. The plants were grown in a subirrigation hydroponic system, using red tuff as substrate and the Universal Steiner's Nutritive Solution. The osmotic pressure increase of 0.54 to 0.90 atm reduced the concentrations of Ca and Mg in the leaves. The other nutrients were not affected by the solution osmotic values. The extraction of K, Mg and Mn were higher in the basal leaves. The total uptake in the leaves was significantly increased when the supply of $N-NO_3^-$ (10.5 or 13.5 meq L^{-1}) combined with the higher $N-NH_4^+$ level (4.5 meq L^{-1}). The different ratios of ammonium achieved statistic differences in these nutriments including N. Quantities of $N-NH_4^+$ higher than 1.5 meq L^{-1} in the nutrient solution stimulated more N uptake in leaves. The solution with only $N-NO_3^-$ as nitrogen source promoted superior concentrations of Ca and Mg in the leaves than the combination of $N-NO_3^-/N-NH_4^+$.

Index words: *Dendranthema x grandiflorum*, soilless culture, macronutrients, micronutrients

INTRODUCCION

En crisantemo cultivado en suelo y bajo condiciones de invernadero, es muy común que se apliquen hasta 4500 kg de N ha^{-1} año⁻¹ (Nelson, 1985), lo cual demuestra que esta especie presenta altos requerimientos de N principalmente durante su periodo vegetativo, siendo las hojas, peciolo y tallos las regiones donde el N es acumulado y a partir de aquí es trasladado para sostener el desarrollo de las inflorescencias (Woodson y Boodley, 1983). Así también, Lunt y Kofranek (1958) demostraron la necesidad de suministrar altos niveles de nitrógeno a crisantemo durante las primeras siete semanas de

crecimiento. De lo contrario, se afecta adversamente la calidad de la flor y cualquier adición posterior no permite la recuperación de las plantas. Se sabe además, que las plantas superiores absorben nitrógeno mineral en forma de N-NO_3^- y/o N-NH_4^+ y la forma disponible en el medio de crecimiento ejerce un efecto dramático sobre el crecimiento, productividad y composición química de muchos cultivos ocasionando diferentes respuestas fisiológicas en la planta. La forma N-NO_3^- es preferencialmente absorbida por la mayoría de las plantas vasculares, mientras que la forma N-NH_4^+ resulta tóxica para muchas de ellas, incluso en bajas concentraciones, ya sea cuando es la única fuente de nitrógeno o en combinación con N-NO_3^- (Salsac *et al.*, 1987). La toxicidad por amonio se ha atribuido a la acidificación de la zona radical (Maynard *et al.*, 1968), la disminución en la absorción de cationes (Kirkby y Mengel, 1967) o a la acumulación en tejidos vegetales de cantidades tóxicas de NH_4^+ no asimilado (Lips *et al.*, 1990). Muchos de los efectos detrimentales del amonio en varias especies vegetales han sido mitigados por la combinación adecuada de $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$, o adicionando CaCO_3 para amortiguar el pH (Maynard *et al.*, 1968; Sandoval *et al.*, 1993). La adición de N-NH_4^+ a una solución nutritiva que contenga N-NO_3^- hace máxima la eficiencia de absorción de N y promueve mejor crecimiento en plantas de crisantemo, cuando las condiciones de crecimiento son favorables (Elliot y Nelson, 1983). Sin embargo, altos niveles de N-NH_4^+ pueden ocasionar desórdenes fisiológicos como es el caso de la disminución en las concentraciones de Ca, K y Zn en hojas inferiores de crisantemo (Fleming *et al.*, 1987), que pudieran limitar un adecuado crecimiento. En un trabajo previo, Bugarín *et al.* (1998) determinaron que las proporciones de amonio en la relación de cationes y la concentración iónica total tuvo un efecto importante en el crecimiento y desarrollo de tres variedades de crisantemo tipo racimo. En el presente trabajo, se estimó conveniente explorar la influencia de estos factores en la absorción nutrimental en hojas basales y apicales de crisantemo var. Puma, con el propósito de profundizar más en el conocimiento teórico acerca de cómo afectan estos factores a la nutrición de esta especie.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron esquejes de crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat.) Kitam. variedad Puma, los cuales fueron cultivados en un sistema hidropónico por subirrigación, como ha sido

descrito en detalle previamente por Bugarín *et al.* (1998). Los factores estudiados fueron los siguientes: Concentración de N-NH_4^+ en la relación de cationes (1.5, 3.0 y 4.5 meq L^{-1}); Concentración de N-NO_3^- en la relación de aniones (10.5 y 13.5 meq L^{-1}) y presión osmótica (0.54, 0.72 y 0.90 atm). A partir de la combinación de las concentraciones de N-NH_4^+ y N-NO_3^- así como las concentraciones iónicas totales en términos de presión osmótica, se generaron 18 tratamientos, adicionándose un testigo, que correspondió a la solución nutritiva de Steiner, sin N-NH_4^+ y aumentando la concentración de N-NO_3^- de 12 a 13.5 meq L^{-1} . Durante la etapa reproductiva, a partir del desbotone hasta floración, se disminuyó a 1/3 la concentración de N total (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) en las soluciones nutritivas pero manteniendo la misma relación de cationes y aniones que en la etapa vegetativa. Se empleó un diseño experimental factorial $3 \times 2 \times 3$, completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. De esta combinación resultaron finalmente 18 tratamientos, más un testigo. La unidad experimental estuvo constituida por una planta en cada repetición. Los módulos hidropónicos se dispusieron en tres bancales de madera (6.70 m x 0.7 m), a 0.70 m de altura; el ancho de los pasillos fue de 0.75 metros.

Al momento de la cosecha, las plantas de la variedad Puma fueron separadas en dos secciones: basal y apical; el punto de división estuvo situado en la parte media de la longitud del tallo separando hojas, tallos e inflorescencias, las cuales se lavaron con agua destilada y se secaron en estufa a 70 °C durante 48 horas. Una vez secas las hojas de las secciones apical y basal, se molieron y cribaron en malla de 40 mesh. Las determinaciones nutrimentales fueron las siguientes: N-total, por el método de microkjeldahl; el P, por el método colorimétrico de Vanadato-molibdato y el K por flamometría (Flame Photometer 400, Corning). Las concentraciones de Ca, Mg, Fe, Mn y Zn fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica (Atomic Absorption/Flame Emission Spectrophotometer, Shimadzu). El Ca y Mg, fueron leídos en este equipo con una mezcla de óxido nitroso/acetileno y los micronutrientes con aire/acetileno.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las concentraciones nutrimentales en las hojas de crisantemo var. Puma obtenidas en los diferentes tratamientos oscilaron en los siguientes rangos:

3.2-6.2 % de N-total, 0.41-1.18 % P, 7.1-9.5 % K, 1.12-2.37 % Ca, 0.26-0.76 % Mg, 119.4-223.9 ppm Fe, 337.5-611.6 ppm Mn y 28.6-48.0 ppm Zn. Estos valores concuerdan con los reportados por otros investigadores (Lunt *et al.*, 1964; Boodley y Meyer, 1965; Joiner y Knoop, 1969; Selmer-Olsen y Gislerod, 1981; Moustafa y Morgan, 1982; Benton *et al.*, 1991). Las concentraciones foliares de K y Ca, obtenidas en plantas de crisantemo cultivadas en hidroponía, pueden ser tan elevadas como 10 y 4.6 % respectivamente; y son consideradas dentro del rango adecuado (Lunt *et al.*, 1964).

Presión Osmótica

La mayoría de las concentraciones y extracciones nutrimentales no se vieron afectados por la presión osmótica de la solución nutritiva, pues los resultados del análisis de varianza muestran que sólo existieron diferencias estadísticas significativas ($\alpha=0.05$) en las concentraciones de calcio de la parte apical y de magnesio tanto en parte apical como basal (Cuadro 1). En los tres casos, las concentraciones nutrimentales disminuyeron cuando la presión osmótica de la solución nutritiva aumentó; la concentración de Ca con 0.54 atm ascendió a 1.60 % mientras que con 0.72 y 0.90 atm fue significativamente menor que éste, con valores de 1.45 y 1.40 %, respectivamente. Un comportamiento similar a Ca, sucedió con Mg (Cuadro 1). En consecuencia, la mayor extracción total de Mg a nivel foliar también ocurrió significativamente con 0.54 atm (0.023 g planta⁻¹), cuyos valores a nivel basal fueron mayores a los apicales, como resultado de mayor producción de biomasa foliar en esta región; así en hojas apicales las extracciones de Mg fueron 0.009, 0.007 y 0.006 g planta⁻¹ para 0.54, 0.72 y 0.90 atm, respectivamente, mientras que en hojas basales, en el mismo orden fueron 0.014, 0.013 y 0.012 g planta⁻¹. En crisantemo var. "Hurricane", Moustafa y Morgan (1982) determinaron que los niveles de N, P, K y Ca, se incrementaron rápidamente en los tejidos foliares, al elevar la concentración de la solución nutritiva con valores en conductividad eléctrica (CE) de 0.4 a 1 mS cm⁻¹; concentraciones mayores de la solución no permitieron variaciones significativas en los niveles nutrimentales. Sin embargo, en la presente investigación, empleando soluciones nutritivas con N-NH₄⁺ de 1.5 a 4.5 meq L⁻¹ en la etapa vegetativa y de 0.5 a 1.5 meq L⁻¹ en la etapa reproductiva, el nivel de 0.74 atm correspondió a una lectura de 2.2 ± 0.2 mS

Cuadro 1. Efecto de la presión osmótica (atm) de la solución nutritiva sobre la concentración (%) de Ca y Mg en hojas basales y apicales de crisantemo var. Puma al momento de la cosecha.

Presión osmótica	Ca apical	Mg apical	Mg basal
atm	----- % -----		
0.54	1.60 a	0.43 a	0.59 a
0.72	1.45 b	0.35 b	0.51 b
0.90	1.40 b	0.32 b	0.49 b
DMS	0.132	0.065	0.090

Valores seguidos con letras iguales, significa no diferencias estadísticas ($\alpha = 0.05$).

cm⁻¹; 0.72 atm, a 2.8 y 0.90 atm a 3.6 (conductímetro Dist 4, marca Hanna) y los porcentajes de Ca y Mg disminuyeron significativamente al aumentar la CE; similares resultados en la variación de Ca se han obtenido también en tomate (Steiner, 1973).

Proporción de Nitratos

Los niveles de 10.5 y 13.5 meq L⁻¹ de N-NO₃⁻, suministrados en la solución nutritiva, no alteraron significativamente las concentraciones foliares de los diferentes elementos cuantificados. Sin embargo, a nivel de extracción nutrimental en hojas, pudo observarse que con 13.5 meq L⁻¹ de N-NO₃⁻, las extracciones de Mg (0.022 g planta⁻¹) y Mn (2.366 mg planta⁻¹) superaron significativamente a 10.5 meq L⁻¹ de N-NO₃⁻ (0.019 g planta⁻¹ de Mg y 2.161 mg planta⁻¹ de Mn). La extracción de K en las plantas también aumentó al aplicar mayor cantidad de nitratos en la solución, de 0.367 (10.5 meq L⁻¹) a 0.391 g planta⁻¹ pero sin diferencias estadísticas; y a pesar de que en las hojas basales tampoco hubo diferencias significativas, sí existieron en las apicales con extracciones de 0.154 (10.5 meq L⁻¹) y 0.180 g planta⁻¹ de potasio (13.5 meq L⁻¹). Por lo tanto, hubo un mejor abastecimiento de K con el nivel más alto de nitrato en la solución; esto coincide con mayor abatimiento de K⁺ al emplear el alto nivel de N-NO₃⁻ en la solución nutritiva (Cuadro 2). También se presentó una cierta estimulación en la absorción de los cationes Mg y Mn al incrementar el nivel de nitrato en la solución nutritiva. Kirkby y Mengel (1967) señalan que la absorción de NO₃⁻ deberá ser acompañada por cationes o por la salida de aniones (OH⁻ y HCO₃⁻) de la raíz, así como la absorción de NH₄⁺ deberá ser acompañada por aniones o la salida de otros cationes desde la raíz para mantener la electro-neutralidad en la planta.

Cuadro 2. Efecto de la concentración de $N-NO_3^-$ en la solución nutritiva sobre la extracción nutrimental de K, Mg y Mn en hojas apicales, basales y extracción total en hojas de crisantemo var. Puma, a la cosecha.

Concentración de $N-NO_3^-$	K			Mg			Mn		
	Hojas apicales	Hojas basales	Extracción total en hojas	Hojas apicales	Hojas basales	Extracción total en hojas	Hojas apicales	Hojas basales	Extracción total en hojas
meq L^{-1}	----- g planta ⁻¹ -----								
10.5	0.154 b	0.214 a	0.367 a	0.0071 a	0.012 a	0.019 b	0.891 b	1.270 a	2.161 b
13.5	0.180 a	0.212 a	0.391 a	0.0083 a	0.014 a	0.022 a	1.059 a	1.307 a	2.366 a

Valores seguidos con letras iguales, significan no diferencias estadísticas ($\alpha = 0.05$).

Concentración de Amonio

Los niveles de amonio utilizados en los diferentes tratamientos, permitieron obtener diferencias estadísticas ($\alpha=0.05$) en las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Mn y Zn. En términos de extracción nutrimental a nivel de las hojas, también hubo diferencias significativas para estos nutrimentos (Cuadro 3). Las concentraciones nutrimentales foliares, fueron más elevadas en la parte basal que en la apical, a excepción del N, siendo mayor en las hojas superiores con 4.29, 4.87 y 4.63 %, que en las basales, con valores de 3.61, 3.84 y 3.95 % para 1.5, 3.0 y 4.5 meq L^{-1} de $N-NH_4^+$ en la solución nutritiva, respectivamente. Esto permite deducir que en la etapa reproductiva el N fue traslocado a las partes jóvenes de crecimiento, muy probablemente para abastecer la demanda generada por el desarrollo floral, tal y como lo han demostrado Woodson y Boodley (1983) en crisantemo var. Indianapolis White. La extracción total de N en hojas (basales + apicales) se incrementó al elevar el nivel de amonio en la solución (Cuadro 3), con valores de 0.182, 0.196 y 0.204 g planta⁻¹ de N para 1.5, 3.0 y 4.5 meq L^{-1} de $N-NH_4^+$, respectivamente, aunque sin diferencias estadísticas, las cuales sólo sucedieron en hojas basales de crisantemo, lográndose menor extracción de N con 1.5 meq L^{-1} de amonio (0.088 g planta⁻¹); mientras que con 3.0 fue significativamente mayor (0.095 g planta⁻¹); este último nivel no difiere de lo obtenido con 4.5 (0.105 g planta⁻¹). En consecuencia la presencia de amonio en la solución nutritiva en cantidades mayores que 1.5 meq L^{-1} estimuló una mayor absorción de N. Por lo tanto, el suministro de $N-NH_4^+$ en adición a $N-NO_3^-$, hace máxima la eficiencia de absorción de N (Elliot y Nelson, 1983). Además, resalta el hecho que con 1.5 meq L^{-1} de $N-NH_4^+$ las hojas basales extrajeron menor cantidad de N al momento de la cosecha, pero suficiente para abastecer la demanda de la planta dado que en las hojas de la parte apical no se observaron diferencias entre los tratamientos con amonio y son las que pueden abastecer en forma más inmediata al desarrollo de las inflorescencias, por estar

más cercana de éstas. Las diferencias de extracción de N en hojas basales y apicales, produjeron mayor cantidad de materia seca en hojas basales, originando un efecto de dilución, y mayor concentración nutrimental de N en las hojas apicales debido a la translocación de N a partir de la región basal. El B, Ca, Fe, Mn y Zn no son realmente translocados de las partes viejas, en cambio, N, P y K se movilizan rápidamente de los tejidos viejos a los jóvenes (Benton *et al.*, 1991). La concentración porcentual de N en las hojas, no varió significativamente con las adiciones crecientes de $N-NH_4^+$ en la solución nutritiva con $N-NO_3^-$; pero tendió a incrementarse tanto en la mitad basal como la apical, conforme aumentó el nivel de $N-NH_4^+$ en la solución. Lo contrario ocurrió para P, K, Ca, y Mg. La extracción de K por las hojas fue aproximadamente dos veces la extracción de N (Cuadro 3), indicando que al menos en la etapa reproductiva, la demanda de K es superior a la de N. Se esperaría que la absorción de K^+ tuviese un comportamiento similar a Ca^{2+} y Mg^{2+} puesto que constituye otro catión que compite con la absorción de amonio. Sin embargo, los niveles empleados de amonio no fueron suficientemente altos para ejercer un antagonismo con K. Feigin *et al.* (1984) tampoco encontraron diferencias significativas en la extracción de K en hojas, tallos y flores de rosas al incrementar de 0 a 50 % la concentración de amonio en soluciones nutritivas con un total de 10 meq L^{-1} de N.

Asimismo, la extracción total de P en hojas disminuyó significativamente al incrementar la proporción de amonio en la solución nutritiva, obteniéndose extracciones de 0.045, 0.037 y 0.033 g planta⁻¹ para 1.5, 3.0 y 4.5 meq L^{-1} de amonio adicionado a la solución, respectivamente, y las hojas basales absorbieron mayor cantidad de fósforo que las apicales, producto de mayor concentración de P en esa región. Es probable que la disminución en la absorción de fósforo haya ocurrido como consecuencia de incrementarse la absorción y asimilación de $N-NH_4^+$ por las plantas, requiriéndose menor gasto de energía en forma de ATP (5 ATP mol⁻¹ de NH_4^+) y

Cuadro 3. Influencia de la concentración de amonio:cationes presente en la solución nutritiva, sobre la extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn en hojas (apicales+ basales) de crisantemo var. Puma, al momento de la cosecha.

Concentración de N-NH ₄ ⁺	Absorción nutricional							
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	g planta ⁻¹			mg planta ⁻¹				
1.5	0.182 a	0.046 a	0.365 a	0.096 a	0.026 a	0.830 a	2.175 a	0.156 b
3.0	0.196 a	0.033 b	0.376 a	0.067 b	0.018 b	0.796 a	2.400 a	0.172 b
4.5	0.205 a	0.038 b	0.396 a	0.071 b	0.018 b	0.875 a	2.216 a	0.197 a
DMS $\alpha=0.05$	0.0261	0.0068	0.0496	0.0102	0.0034	0.1972	0.276	0.0211

Valores seguidos con letras iguales indican no diferencias estadísticas ($\alpha = 0.05$).

consecuentemente de P. En cambio, la reducción y asimilación de NO₃⁻ tiene un costo energético estimado de 15 a 16 ATP mol⁻¹ de NO₃⁻ (Salsac *et al.*, 1987).

La adición de N-NH₄⁺ tuvo un efecto antagónico disminuyendo las absorciones de Ca y de Mg (Cuadro 3). El incremento de 1.5 a 3.0 y 4.5 meq L⁻¹ en la concentración de amonio en la solución ocasionó un abatimiento significativo en la extracción total de Ca en hojas (basales + apicales) de 0.096 a 0.067 y 0.071 g planta⁻¹, y la extracción de este elemento fue mayor en hojas basales que en las apicales. La extracción de Mg tuvo un comportamiento similar al Ca. El mecanismo de competencia entre la absorción de NH₄⁺ versus Ca²⁺ y Mg²⁺ no está completamente entendida, pero es probable que se deba a la liberación de H⁺ durante la incorporación de NH₄⁺ y al efecto competitivo de la presencia de NH₄⁺ (Mengel y Kirkby, 1982). Las extracciones de Ca y Mg en hojas basales fueron 60 y 40 % mayores, respectivamente, que la extracción originada por hojas apicales, como resultado de mayor concentración nutricional y mayor producción de materia seca foliar. Con respecto a Ca²⁺, se ha señalado que una vez depositado en hojas maduras no puede ser movilizado a las partes más jóvenes (Mengel y Kirkby, 1982) y es la razón de haber encontrado mayor extracción en hojas basales. A diferencia del Ca²⁺, el Mg²⁺ es muy móvil en el floema y puede ser translocado a partir de hojas viejas a hojas jóvenes o al ápice. Sin embargo, los resultados aquí obtenidos no son suficientes para sostener este postulado, aunque es posible que el haber encontrado menor extracción de magnesio en hojas apicales sea resultado de una activa translocación desde esta región a las inflorescencias. La reducción de las concentraciones de Ca y Mg es producto del incremento del nivel de amonio o un bajo pH de la solución nutritiva (Kafafi, 1990).

Por otro lado, resulta sorprendente que las extracciones de Mn en hojas apicales y basales hayan sido del orden de tres veces mayores que las de Fe, lo cual permite indicar que a diferencia de muchas especies vegetales, el crisantemo requiere mayor

extracción de Mn que Fe (Cuadro 3). Sin embargo, en ambos casos, no existieron diferencias significativas entre los niveles de amonio suministrados en la solución. En cambio, al adicionar mayor cantidad de amonio en la solución, contrariamente a lo esperado, se incrementó de manera significativa la absorción de Zn, de 0.156 (1.5 meq L⁻¹) y 0.171 (3.0 meq L⁻¹) a 0.197 mg planta⁻¹ (4.5 meq L⁻¹).

Interacción Presión Osmótica*Concentración de amonio. En las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5 se muestran las extracciones de N total y K en las hojas apicales más basales; de P, Ca y Mg en las hojas basales. En todos los casos hubo diferencias significativas por efecto de la presión osmótica empleando una determinada concentración de amonio y dichos efectos tuvieron lugar primordialmente ante el cambio de 0.54 a 0.72 atm, para N y P al utilizar 1.5 meq L⁻¹ de N-NH₄⁺ en la solución nutritiva, así como para K a 4.5, Ca a 3.0 y Mg a 3.0 meq L⁻¹ de N-NH₄⁺ respectivamente; debe notarse que en el caso de N la diferencia significativa tuvo lugar entre 0.54 y 0.90 atm. Dichos resultados demuestran que con la presión osmótica de 0.54 atm tuvo lugar una extracción mayor con relación a la de 0.72 atm en el caso de K, Ca y Mg, y lo contrario ocurrió con N y P. Esto se explica de acuerdo con lo indicado por Steiner (1973) que cuando la presión osmótica de una solución nutritiva es menor a la adecuada para un cultivo en una cierta condición ambiental, aquellos nutrientes cuyo acceso radical se debe al flujo de masas (NO₃⁻, Ca²⁺ y Mg²⁺) son absorbidos por el cultivo en mayor proporción que los requerimientos para la producción óptima de biomasa y lo contrario ocurre para los nutrientes cuyo acceso es mediante difusión, como es el caso de fósforo. Steiner (1973) determinó este comportamiento de los cultivos cuando preparó sus soluciones nutritivas con nitratos exclusivamente como fuente de nitrógeno. En el presente estudio, al utilizar amonio como fuente complementaria de nitrógeno, se infiere que la absorción de N-NH₄⁺ se debió a difusión como lo indican Mengel y Kirkby (1982). Asimismo,

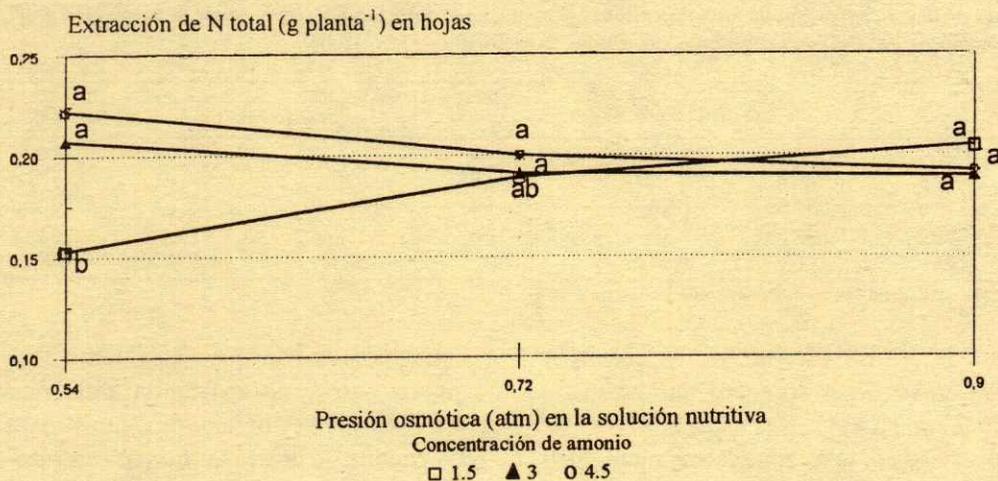


Figura 1. Influencia de la interacción Presión osmótica*Concentración de amonio de la solución nutritiva, sobre la extracción de N total (g planta⁻¹) en hojas (apicales + basales) de crisantemo var. Puma, al momento de la cosecha. Letras iguales significan no diferencias estadísticas entre niveles de presión osmótica (P=0.05).

el acceso radical de K pudo haber sido totalmente por flujo de masas (Steiner, 1973; Reuger *et al.*, citados por Marschner, 1986).

De acuerdo con los enunciados de Steiner (1973), cuando la presión osmótica de la solución nutritiva es mayor con relación a la requerida por el cultivo, los procesos antes indicados se invierten, es decir, la absorción de los nutrimentos por flujo de masas es disminuida y aumenta la absorción de los nutrimentos por difusión. De los resultados antes expuestos, solamente en el caso de K (Figura 3) y del nitrógeno (Figura 1), se observaron diferencias significativas entre las presiones osmóticas de 0.72 y 0.90 atm, las cuales confirman tácitamente dichos enunciados. Debe

considerarse además, que en soluciones diluidas existe un mecanismo de absorción más selectivo que en soluciones más concentradas (Nissen, 1986). Las desviaciones aparentes a las respuestas esperadas para los casos de P, Ca y Mg se explican probablemente en función de la acción fisiológicamente acidificante debida a la presencia de NH₄⁺ en la solución nutritiva en el rizoplano. Conforme el pH de la solución nutritiva se acidifica, la solubilidad o disociación de dichos iones aumenta (Steiner, 1968; Tarr y Noble, 1922; Reed y Hass, 1924, citados por Hewitt, 1966) y su disponibilidad a nivel radical aumenta. Sin embargo, conforme el pH de la solución nutritiva desciende de 6.0, los fosfatos tienden a enlazarse progresivamente

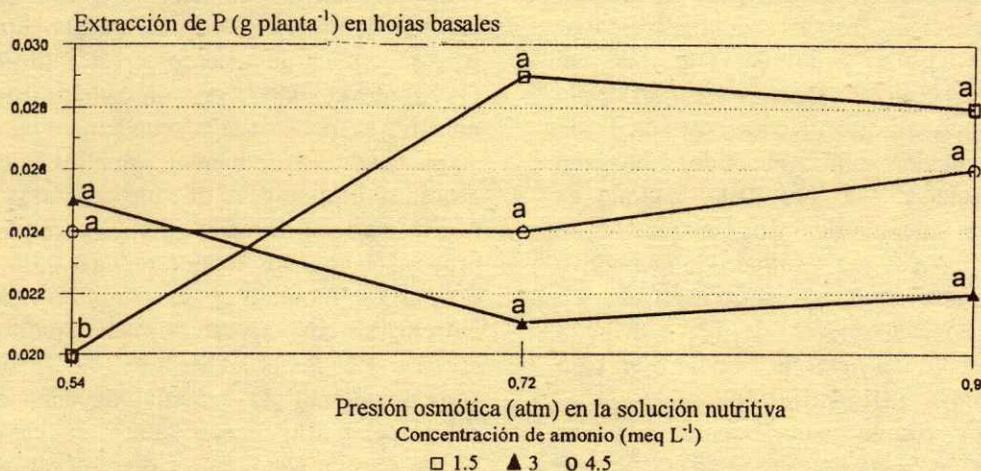


Figura 2. Influencia de la interacción Presión Osmótica*Concentración de Amonio de la solución nutritiva sobre la extracción de P (g planta⁻¹) en hojas basales de crisantemo var. Puma, al momento de la cosecha. Letras iguales significan no diferencias estadísticas entre niveles de presión osmótica (P=0.05).

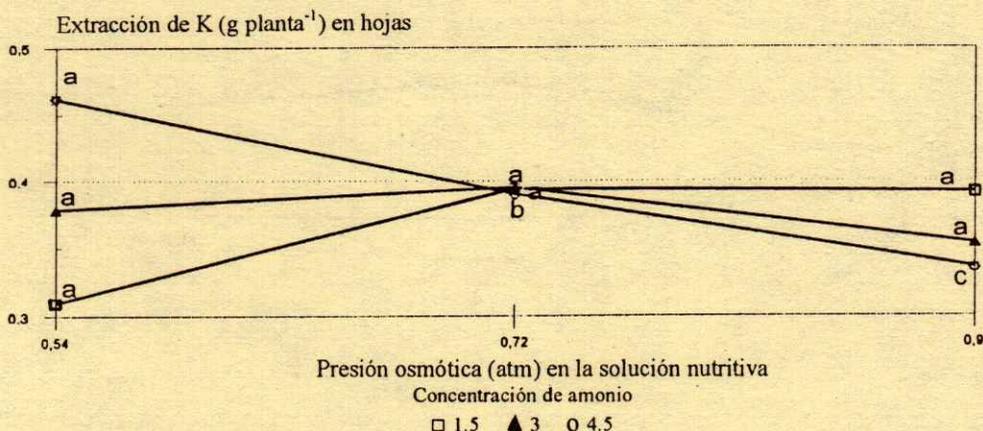


Figura 3. Efecto de la interacción Presión Osmótica*Concentración de Amonio de la solución nutritiva, sobre la extracción de K (g planta⁻¹) en hojas (apicales + basales) de crisantemo var. Puma, al momento de la cosecha. Letras iguales significan no diferencias estadísticas entre niveles de presión osmótica (P=0.05).

en mayor grado con el Al presente en los compuestos estructurales del substrato tezontle, limitando en cierto grado la disponibilidad de los iones fosfato (Hewitt, 1966; Bohn *et al.*, 1993). Finalmente, se considera que los resultados esperados para P, Ca y Mg en cuanto a su extracción total debida a flujo de masas o difusión exclusivamente, fueron modificados por los efectos de acidez indicados.

Fleming *et al.* (1987), en un estudio con crisantemo, observaron que las concentraciones de Ca y K disminuyeron debido al amonio presente en la solución nutritiva, pero las concentraciones de Mg, Mn, Fe y Zn no fueron afectadas. Se ha demostrado que tanto el Ca como Mg se absorben principalmente por flujo de masas (Mengel y Kirkby, 1982) y que además en soluciones diluidas existe un mayor consumo de agua

comparativamente contra soluciones más concentradas (Steiner, 1973; Sonneveld y Voogt, 1990); por tanto con 0.54 atm se esperaría mayor consumo de agua y consecuentemente también de Ca²⁺ y Mg²⁺, coincidiendo con lo obtenido en el presente ensayo.

Comparando soluciones isotónicas de 0.72 atm con diferentes concentraciones de N-NH₄⁺:cationes + N-NO₃⁻:aniones, contra el testigo (13.5 meq L⁻¹ de N-NO₃⁻ pero sin amonio), las concentraciones de Ca y Mg fueron mayores significativamente en el testigo, tanto en hojas apicales como basales. Las concentraciones de estos elementos en las plantas cultivadas en soluciones con amonio en combinación con nitrato fueron 1.44 y 1.79 % de Ca; 0.34 y 0.51 % de Mg en hojas apicales y basales, respectivamente; en el mismo orden, las concentraciones en el testigo ascendieron a

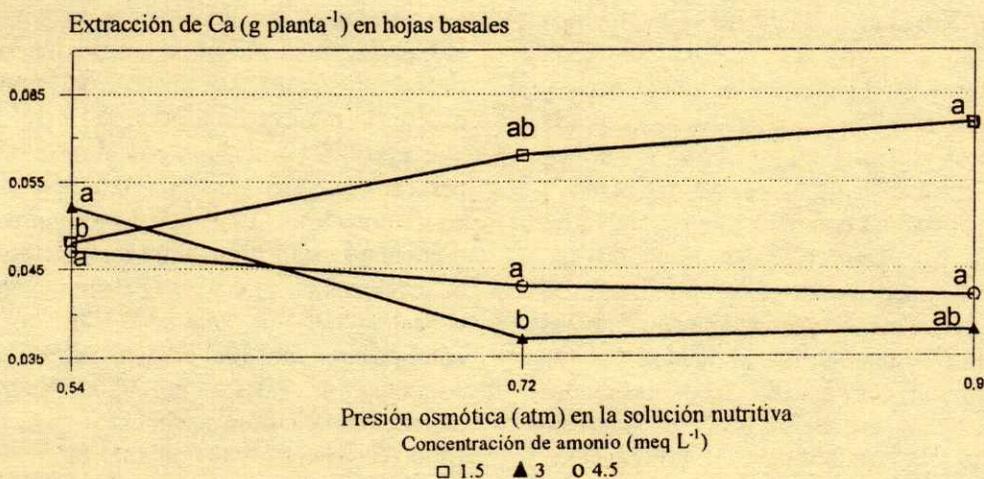


Figura 4. Influencia de la interacción Presión Osmótica*Concentración de Amonio de la solución nutritiva, sobre la extracción de Ca (g planta⁻¹) en hojas basales de crisantemo var. Puma, al momento de la cosecha. Letras iguales significan no diferencias estadísticas entre niveles de presión osmótica (P=0.05).

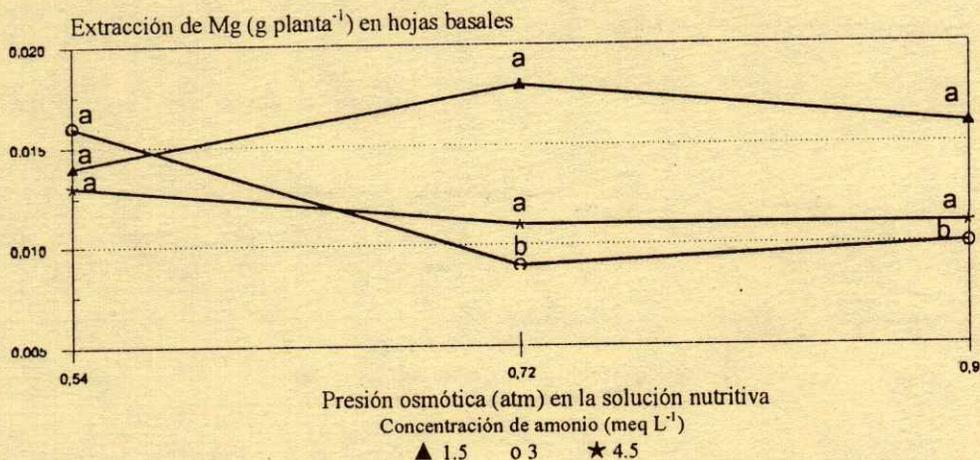


Figura 5. Influencia de la interacción Presión Osmótica*Concentración de Amonio de la solución nutritiva, sobre la extracción de Mg (g planta⁻¹) en hojas basales de crisantemo var. Puma, al momento de la cosecha. Letras iguales significan no diferencias estadísticas entre niveles de presión osmótica (P=0.05).

1.98 y 2.49 % de Ca; 0.476 y 0.744 % de Mg. Consecuentemente, la extracción total de ambos nutrimentos en hojas fue mayor en el testigo, con valores de 0.091 y 0.0252 g planta⁻¹ para Ca y Mg en forma respectiva, mientras que en soluciones con amonio más nitrato la absorción fue menor: 0.0784 g planta⁻¹ de Ca y 0.020 g planta⁻¹ de Mg. El suministro de amonio a la solución nutritiva, en combinación con nitrato, estimuló mayor extracción de N, P, K, Mn y Zn y disminuyó la de Ca, Mg y Fe. Lo anterior evidencia que la adición de amonio a la solución nutritiva disminuye la absorción de cationes bivalentes por las plantas, tal y como lo han señalado otros investigadores (Kirkby y Mengel, 1967). La extracción total de Mn en hojas se vio favorecida al elevar la concentración de amonio en soluciones diluidas (0.54 atm), incrementándose significativamente de 1.69 a 2.47 y 2.42 mg planta⁻¹ para 1.5, 3.0 y 4.5 meq L⁻¹ de amonio, respectivamente; en cambio con 0.72 atm no existieron variaciones en las absorciones; y empleando 0.90 atm, se obtuvo una respuesta contraria a la de 0.54 atm. Con el tratamiento 0.54 atm + 4.5 meq L⁻¹ de amonio la extracción de Mn (2.42 mg planta⁻¹) fue semejante a la absorción con 0.90 atm + 1.5 meq L⁻¹ de amonio (2.50 mg planta⁻¹). Tales resultados no concuerdan con lo mencionado por otros autores, quienes puntualizan que mayor cantidad de Mn en hojas es absorbido cuando la fuente principal de N es N-NO₃⁻ y no N-NH₄⁺ (Benton *et al.*, 1991). Los resultados también muestran que la extracción de Fe en hojas no fue afectada por el empleo de la combinación amonio/nitrato en comparación con el testigo, cuya fuente nitrogenada fue únicamente nitrato. Para el caso de Zn, existió mayor absorción nutrimental al

incrementar el nivel de amonio en la solución nutritiva, pero fue sólo significativo con 0.54 atm, extrayéndose 0.133, 0.160 y 0.214 mg planta⁻¹ con 1.5, 3.0 y 4.5 meq L⁻¹ de amonio. Este incremento en la absorción de zinc puede ser debido al efecto de acidez en la solución que causa la adición de amonio (Benton *et al.*, 1991).

Interacción Nitrato*Amonio. Hubo una interacción significativa entre los niveles de nitratos (10.5 y 13.5 meq L⁻¹) y amonio (1.5, 3.0 y 4.5 meq L⁻¹) empleados en la solución nutritiva, pero sólo para las extracciones de N, P, K, Ca, Mg, Mn y Zn en hojas de la parte basal (Cuadro 4), lo cual pudiese ser explicado en parte, por mayor producción de materia seca en dichas hojas comparativamente con las de la zona apical. La extracción de N fue significativamente más elevada en el tratamiento con mayor cantidad de N (13.5 NO₃⁻ + 4.5 NH₄⁺) en la solución, permitiendo una extracción de 0.112 g planta⁻¹ de N total, aunque no difiere de manera estadística del nivel de 3.0 meq de amonio (0.094 g planta⁻¹) con el mismo nivel de nitrato pero sí de 1.5 de amonio (0.078 g planta⁻¹). Con la concentración de 10.5 meq L⁻¹ de nitrato no existieron diferencias estadísticas entre los niveles de amonio. Las extracciones de P, Ca y Mg disminuyeron conforme la concentración de amonio fue mayor pero en combinación con 10.5 meq de nitrato, pues al utilizar 13.5 meq de nitrato no hubo diferencias en las extracciones de estos nutrimentos.

Elliot y Nelson (1983) puntualizaron que la absorción de NO₃⁻ en crisantemo es influida por la cantidad de NH₄⁺ presente en la solución, dado que la absorción de NH₄⁺ y N total se incrementan con las adiciones

Cuadro 4. Extracciones nutrimentales en hojas basales de crisantemo var. Puma al momento de la cosecha, influenciado por la interacción: Concentración de nitratos/Concentración de amonio (meq L⁻¹) presentes en la solución nutritiva.

Concentración de NO ₃ ⁻	Concentración de NH ₄ ⁺	Extracción nutrimental							
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	meq L ⁻¹	g planta ⁻¹			mg planta ⁻¹				
10.5	1.5	0.098 a	0.029 a	0.211 a	0.061 a	0.017 a	0.469 a	1.304 a	0.093 a
10.5	3.0	0.097 a	0.022 b	0.214 a	0.039 b	0.011 b	0.416 a	1.288 a	0.094 a
10.5	4.5	0.098 a	0.022 b	0.217 a	0.038 b	0.010 b	0.507 a	1.218 a	0.108 a
13.5	1.5	0.078 b	0.022 a	0.175 b	0.051 a	0.014 a	0.415 a	1.101 b	0.079 b
13.5	3.0	0.094 ab	0.023 a	0.215 a	0.045 a	0.013 a	0.534 a	1.481 a	0.108 a
13.5	4.5	0.112 a	0.027 a	0.245 a	0.050 a	0.013 a	0.491 a	1.338 a	0.121 a

Valores seguidos con letras iguales indican no diferencias significativas ($\alpha=0.05$), entre niveles de amonio dentro de una concentración dada de nitratos.

crecientes de NH₄⁺, mientras que la absorción de NO₃⁻ disminuye linealmente. Señalan además, que la proporción de N total absorbido como NO₃⁻ disminuye de 50 % con 0.05 mol m⁻³ de NH₄⁺ adicionado, a 25 % con 0.3 mol m⁻³.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de Ca en las hojas apicales y de Mg en las hojas apicales y basales disminuyeron al aumentar la presión osmótica de la solución nutritiva de 0.54 a 0.72 atm.

Las dos diferentes concentraciones de nitrato en la relación de aniones (NO₃⁻ + H₂PO₄⁻ + SO₄²⁻) de la solución nutritiva, no modificaron entre sí, las concentraciones foliares de los diferentes elementos cuantificados.

La concentración de amonio en la relación de cationes (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + NH₄⁺) de la solución nutritiva interactuó con la presión osmótica de la misma en la respuesta de la planta. La presión osmótica menor (0.54 atm) propició mayores extracciones por las hojas de K, Ca y Mg y menores que N y P, esto en combinación con concentraciones variables de amonio para cada uno de los nutrimentos.

En forma similar, la concentración de amonio interactuó con la concentración de nitrato en la relación de aniones (NO₃⁻ + H₂PO₄⁻ + SO₄²⁻) de la solución nutritiva en la extracción de P, Ca y Mg de las hojas basales, las mayores extracciones se obtuvieron con 10.5 meq L⁻¹ de nitrato y 1.5 meq L⁻¹ de amonio.

LITERATURA CITADA

- Benton, J. Jr., B. Wolf y H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc.
- Bugarin M., R., G.A. Baca C., J. Martínez H., J.L. Tirado T. y A. Martínez G. 1998. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración. Terra 16: 113-124.
- Bohn, H.L., B.L. McNeal y G.A. O'Connor. 1993. Química del suelo. Traducción al español por M. Sánchez y R. Guajardo V. Limusa, México.
- Boodley, W.J. y M. Meyer Jr. 1965. The nutrient content of Bonnaflon Deluxe Chrysanthemum from juvenile to mature growth. Proc. Amer. Soc. Hort. Science. 87: 472-478.
- Elliot, C.G. y P.V. Nelson. 1983. Relationships among nitrogen accumulation, nitrogen assimilation and plant growth in chrysanthemums. Physiol. Plant. 57: 250-259.
- Fleming, L.A., D.T. Krizek y R.M. Mirecki. 1987. Influence of ammonium nutrition on the growth and mineral composition of two chrysanthemum cultivars differing in drought tolerance. J. of Plant Nutrition 10: 1869-1881.
- Feigin, A., A. Ginzburg, A. Ackerman y S. Gilead. 1984. Response of roses growing in a volcanic rock substrate to different NH₄/NO₃ ratios in the nutrient solution. pp. 207-213. In: Proc. of the 6th Int. Cong. on Soils Culture. ISOSC.
- Hewitt, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical Communication No.22 (2nd ed.). Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops East Malling, Maidstone, Kent. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Joiner, J.N. y W.E. Knoop. 1969. Effects of ratios of NH₄ to NO₃ and levels of N and K on chemical content of *Chrysanthemum morifolium* "Bright Goden Ann". Proc. Fla. State Hort. Soc. 82: 403-440.
- Kaskafi, U. 1990. Root temperature, concentration and the ratio NO₃⁻/NH₄⁺ effect on plant development. J. of Plant Nutrition 13:1291-1306.
- Kirkby, A.E. y K. Mengel. 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea or ammonium nutrition. Plant Physiol. 42: 6-14.
- Lips H.S., E.O. Leidi, M. Silberbush, M.I.M. Soares y O.E.M. Lewis. 1990. Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. J. of Plant Nutrition 13: 1271-1289.
- Lunt, O.R. y A.M. Kofranek. 1958. Nitrogen and potassium nutrition of *Chrysanthemum*. Proc. Amer. Soc. Hort. Science 72: 487-497.
- Lunt, O.R., A.M. Kofranek y J.J. Oertli. 1964. Some critical nutrient levels in *Chrysanthemum morifolium*, cultivar Good News. pp. 398-413. In: C. Bould, P.P. Revot and J.R. Magness (ed.). Plant analysis and fertilizer problems IV. ASHS, New York.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Institute of Plant Nutrition. University of Hohenheim. Federal Republic of Germany. Academic Press Inc. London.

- Maynard, N.D., A.V. Barker y W.H. Lachman. 1968. Influence of potassium on the utilization of ammonium by tomato plants. *Proc. Amer. Soc. Hort. Science* 92: 537-542.
- Mengel K. y S.A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. Ed. International Potash Institute.
- Moustafa, A.T. y J.V. Morgan. 1982. Influence of solution concentration on growth, flower quality and nutrient uptake in spray chrysanthemum. *Acta Horticulturae* 133: 13-24.
- Nelson, P.V. 1985. Greenhouse operation and management. Third Edition. Reston Pub. Co. Inc., U.S.A.
- Nissen, P. 1986. Nutrient uptake by plants: Effect of external ion concentration. *Acta Horticulturae* 178: 21-28.
- Sandoval V., M., G.A. Alcántar y J.L. Tirado. 1993. Momento oportuno de la aplicación de amonio y nitrato para incrementar la producción de grano de trigo. *Terra* 11: 61-66.
- Salsac, L., S. Chaillou, J.F. Morot-Gaudry, C. Lesaint y E. Jolivet. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25: 805-812.
- Selmer-Olsen, R.A. y H.R. Gislerod. 1981. Effect of root temperature on nutrient uptake by the chrysanthemum. *Acta Horticulturae* 126: 427-433.
- Sonneveld, C. y W. Voogt. 1990. Response of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) to an unequal distribution of nutrients in the root environment. pp. 509-514. *In*: M.L. van Beusichem (ed). Plant nutrition - physiology and applications. Kluwer Acad. Pub.
- Steiner, A.A. 1968. Soilles culture. pp. 324-341. *In*: Proceedings of the 6th colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy. Published by: Int. Potash Inst. Berne, Switzerland.
- Steiner, A.A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. pp. 43-54. *In*: Proceedings of the 3rd International Congress on Soilless Culture. IWOSC. Sassari, Italy.
- Woodson, W.R. y J.W. Boodley. 1983. Accumulation and partitioning of nitrogen and dry matter during the growth of *Chrysanthemum*. *HortScience* 18: 196-197.

ESTIMACION DE LA CONCENTRACION DE NITROGENO Y CLOROFILA EN TOMATE MEDIANTE UN MEDIDOR PORTATIL DE CLOROFILA

Estimation of Nitrogen and Chlorophyll Status of Tomato with a Portable Chlorophyll Meter

Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza¹, Gabriel Alcántar González, Andrés Aguilar Santelises, Jorge D. Etchevers Barra, José A. Santizó Rincón

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron correlacionar los valores obtenidos mediante el medidor SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) en plantas de tomate con la clorofila extractable y el nitrógeno total, así como obtener la ecuación de regresión correspondiente. La investigación se dividió en dos etapas: En la primera etapa se instaló, en el invernadero, un experimento con plantas de tomate cultivar Río Grande que fueron transplantadas en dos sustratos (tepetate y suelo agrícola). En cada suelo se instalaron seis tratamientos: testigo absoluto, fertilización al suelo con un equivalente a 200 kg de N ha⁻¹ y 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹, fertilización al suelo con un equivalente a 150 kg de N ha⁻¹ y 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹ más en los cuatro tratamientos restantes, un complemento de fertilización foliar con tres formulaciones preparadas en el Colegio de Postgraduados y una formulación comercial, (Bayfolan forte). En total se obtuvieron 12 tratamientos, seis por cada sustrato con cuatro repeticiones cada uno. En todas las plantas cada 15 días se hicieron lecturas con el medidor de clorofila SPAD-502, teniendo un total de cuatro lecturas, a los 45, 60, 75 y 90 días después del transplante. En la segunda etapa se seleccionaron hojas de plantas de tomate de diferentes tonos, desde amarillo pálido (cloróticas) hasta verde intenso, las cuales se cortaron en fragmentos de 1 cm², y en éstos se tomaron, en forma inmediata, lecturas con el analizador de clorofila. A los mismos fragmentos del tejido vegetal se les determinó la concentración de clorofila extractable en acetona al 80 % de nitrógeno total por el método kjeldahl. Los resultados se analizaron estadísticamente y se obtuvo una alta correlación entre las unidades SPAD y la

concentración de clorofila o nitrógeno total. Se obtuvieron las ecuaciones de regresión para estimar, a partir de las unidades SPAD los contenidos de clorofila y nitrógeno en las plantas. No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de clorofila y nitrógeno entre tratamientos, pero sí entre fechas de muestreo; los valores más altos de nitrógeno y clorofila se presentaron en las plantas a los 45 días después del transplante y fueron disminuyendo conforme se desarrolló el cultivo. A la cosecha se encontraron diferencias altamente significativas en el rendimiento en peso de fruto por planta, más no en unidades de SPAD.

Palabras clave: Unidades SPAD, nitrógeno, clorofila.

SUMMARY

The objectives of this study were to correlate extractable chlorophyll and total nitrogen with the values obtained by means of a SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) meter in tomato plants, as well as to obtain the corresponding regression equation. The study was divided into two stages. During the first stage, an experiment was set up in a greenhouse with tomato plants of the cultivar Rio Grande, which were transplanted in two substrata (tepetate and agricultural soil). In each soil, six treatments were established: absolute control, soil fertilization with an equivalent of 200 kg N ha⁻¹ and 100 kg P₂O₅ ha⁻¹, soil fertilization with an equivalent of 150 kg N ha⁻¹ and 70 kg P₂O₅ in the four remaining treatments, a supplementary foliar fertilization with three formulas prepared in the 'Colegio de Postgraduados' and one commercial formula (Bayfoland forte). A total of 12 treatments were obtained, six per substratum with four replications each. Readings were taken in all of the plants every 15 days with the SPAD-502 chlorophyll meter, with a total of four readings 45, 60, 75, and 90 days after transplant. For the second stage, leaves of different tones, from pale yellow (chlorotic) to intense

¹ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Km 35.5 Carretera México-Texcoco, 56230 Montecillo, México.

Aceptado: Marzo de 1998.

green, were selected from the tomato plants. These were cut into fragments of 1 cm², and readings were taken immediately with the chlorophyll analyzer. The concentration of extractable chlorophyll was determined in 80 % acetone, and total nitrogen was determined using the kjeldahl method. The results were analyzed statistically and a high correlation was found between the SPAD units and the concentration of chlorophyll or total nitrogen. Regression equations were obtained to estimate contents of chlorophyll and nitrogen in the plants from the SPAD units. No significant differences in chlorophyll and nitrogen concentrations were found among treatments. However, significant differences were found among sampling dates. The highest values of nitrogen and chlorophyll were present in the plants at 45 days after transplant and diminished as the crop developed. At harvest, highly significant differences were found in yield expressed in fruit weight per plant, but no significant differences were found in SPAD units.

Index words: SPAD units, nitrogen, chlorophyll.

INTRODUCCION

La técnica más ampliamente usada para la determinación cuantitativa de nitrógeno total es la de kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982), la cual fue desarrollada en el siglo pasado y, debido al firme principio químico en el que se fundamenta, prácticamente no ha sido modificada. No obstante, tiene el inconveniente de requerir equipo especializado y, cuando se tiene un gran número de muestras para analizar, el gasto de reactivos es excesivo, lo que ocasiona que el costo de la determinación sea alto (Wood *et al.*, 1994). Otro de los inconvenientes es el tiempo invertido desde la toma de la muestra hasta su preparación y análisis.

La determinación de clorofila en tejidos vegetales (por extracción con acetona a 80 % o con N,N-dimetilformamida (Moran, 1982), es un método utilizado para estimar el estado nutrimental del cultivo en lo que se refiere al nitrógeno, magnesio y fierro principalmente (Sachdchina y Dimitrieva, 1995) y conlleva los mismos inconvenientes de tiempo y costo que la técnica de kjeldahl.

Recientemente se ha reportado que la cantidad de clorofila y de nitrógeno total determinados por los métodos tradicionales en leguminosas, gramíneas,

frutales y hortalizas presenta una alta correlación con las unidades SPAD medidas con el detector de clorofila Minolta SPAD-501 (Reeves *et al.*, 1993).

Turner y Jund (1991), con un modelo reciente del detector de clorofila SPAD-502, demostraron que la "unidad SPAD" es un valor proporcional al contenido de nitrógeno en la planta de arroz. Dichos autores analizaron *in situ* y en corto tiempo, cientos de muestras sin destruirlas lo que les permitió establecer de forma inmediata el estado nutrimental del cultivo en estudio. Posteriormente, el equipo SPAD-502 fue calibrado para el cultivo de maíz (Krugh *et al.*, 1994), trigo (Follet *et al.*, 1992; Fox *et al.*, 1994), pasto (*Festuca*) (Kantety *et al.*, 1996) y algodón (Wood *et al.*, 1992), con el fin de detectar posibles deficiencias de nitrógeno.

Los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal eléctrica. La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994).

El contenido de clorofila y la absorción de nitrógeno se han correlacionado con las unidades SPAD en diversas condiciones ambientales como la intensidad luminosa, temperatura, humedad relativa, plagas, densidad de población, fuente de nitrógeno, etc. (Hiderman *et al.*, 1992; Piekielek y Fox, 1992).

Con base en lo antes expuesto los objetivos del presente trabajo fueron: determinar unidades SPAD en plantas de tomate sometidas a diferentes condiciones nutrimentales, hacer correlaciones con las concentraciones de nitrógeno total y clorofila extractable, obtener la ecuación de regresión correspondiente para el tomate desarrollado en invernadero y correlacionar estos valores con el rendimiento del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Se estableció un experimento en invernadero para evaluar el efecto de diferentes formulaciones de fertilizantes foliares como complemento a la fertilización en dos sustratos, lo cual permitió asegurar una amplia gama de condiciones de nutrición, desde

deficiencia hasta suficiencia, en el cultivo en estudio. Las plantas de tomate cultivar Río Grande, a los 30 días después de la siembra, se transfirieron a macetas con capacidad de 20 L con suelo agrícola (Typic arguistoll) o tepetate (Fragipan piroclástico T3). A cada suelo se le aplicaron los tratamientos indicados en el Cuadro 1.

Los fertilizantes foliares N1, N2 y N3 se elaboraron en el laboratorio del Área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados bajo las formulaciones indicadas en el Cuadro 2.

Por la homogeneidad de intensidad luminosa y temperatura que había en el invernadero, se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

Determinaciones de Unidades SPAD

La lectura de los valores SPAD se realizó cada 15 días, antes de cada aspersión foliar, a partir de 45 días después de transplante, hasta 90 días. El equipo utilizado fue el SPAD-502.

Correlación entre SPAD, Clorofila y Nitrógeno Total

Del experimento establecido en el invernadero se seleccionaron hojas de tomate que presentaban desde clorosis severa hasta un color verde intenso. Las hojas fueron cortadas en fragmentos de 1 cm² aproximadamente, obteniendo así 800 muestras en total. Inmediatamente después se hicieron tres lecturas por fragmento con el medidor de clorofila (Yadava, 1986). Se obtuvo el promedio de las tres lecturas y los segmentos se agruparon en intervalos de lectura de 0 a 20, 20.1 a 30, 30.1 a 40, a 40.1 a 50, 50.1 a 60 unidades SPAD como lo recomiendan Krugh *et al.* (1994). De cada grupo se obtuvieron cuatro muestras para determinar el contenido de clorofila y cuatro para cuantificar el nitrógeno total por el método kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

La cuantificación de clorofila se hizo mediante el método de Arnon, publicado por Bruinsma (1963), el cual consiste en pesar un gramo de material vegetal fresco, que se homogeneiza con 20 mL de acetona concentrada. El homogeneizado se filtra mediante vacío y el líquido se recibe en un matraz aforado de 50 mL protegido de la luz para evitar degradación de la clorofila, se lleva al aforo con acetona a 80 % y se lee su absorbancia en un espectrofotómetro a 652 nm.

Cuadro 1. Arreglo de tratamientos considerados en el experimento de fertilización foliar.

Tratamiento	Descripción
1	Testigo absoluto
2	Fertilización al suelo equivalente a 200 kg de N y 100 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹
3	Fertilización al suelo equivalente a 150 kg de N y 70 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ + fertilizante foliar N1
4	Fertilización al suelo equivalente a 150 kg de N y 70 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ + fertilizante foliar N2
5	Fertilización al suelo equivalente a 150 kg de N y 70 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ + fertilizante foliar N3
6	Fertilización al suelo equivalente a 150 kg de N y 70 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ + fertilizante foliar Bayfolan

Para calcular la concentración de clorofila total se utiliza la siguiente ecuación:

$$Cl_t = 27.8 A_{692}$$

Los datos obtenidos de clorofila y nitrógeno total se utilizaron para correlacionarlos con las unidades SPAD obtenidas en segmentos de hojas. Al mismo tiempo se obtuvo la ecuación de regresión.

Con las lecturas en unidades SPAD hechas en la quinta hoja de las plantas a los 45, 60, 75 y 90 días después del transplante y las ecuaciones de regresión obtenidas, se estimó la cantidad de clorofila y nitrógeno en los diferentes tratamientos. Se correlacionaron las unidades SPAD a los 90 días después del transplante con el rendimiento en cada tratamiento.

Cuadro 2. Contenido de macro y micronutrientes en las formulaciones foliares elaboradas en el Colegio de Postgraduados.

Sales	Fertilizante foliar		
	N1	N2	N3
	----- g L ⁻¹ -----		
Ca (NO ₃) ₂	2.0	-	-
NH ₄ NO ₃	2.0	2.0	1.0
KNO ₃	-	3.0	2.0
Urea	-	-	2.0
KH ₂ PO ₄	2.0	2.0	2.0
Mg SO ₄	1.0	-	-
H ₃ BO ₃	0.5	0.5	0.5
MnSO ₄	0.5	0.5	0.5
CuSO ₄	0.5	0.5	0.5
ZnSO ₄	0.5	0.5	0.5
FeEDTA†	1.0 mL	1.0 mL	1.0 mL

† Solución de 50 000 ppm.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los fragmentos de las hojas los valores SPAD variaron en un intervalo de 7.73 a 53.93. La agrupación por intervalos de unidades SPAD permitió abarcar todas las tonalidades de verde en las hojas de tomate presentes en cualquier circunstancia. Para cada intervalo seleccionado, el análisis estadístico mostró un valor promedio mínimo y un máximo (Cuadro 3).

La diferencia de unidades entre el intervalo de mínima y máxima lectura disminuyó conforme la intensidad de verde aumentó; por ejemplo, la diferencia entre el valor máximo y mínimo fue de 7.64 en las hojas amarillas y de 0.91 unidades cuando las hojas tenían un color verde intenso, esto se debe principalmente a que en valores altos de unidades SPAD las diferencias de contenido de nitrógeno entre un nivel y otro son mínimas.

La concentración de clorofila extractable mostró valores mayores conforme aumentaron las unidades SPAD, de tal forma que el valor más bajo (0.88 mg) se obtuvo con las hojas amarillas y el más alto (3.11 mg) con las hojas verdes.

Se encontró una correlación altamente significativa ($\alpha = 0.01$, $r = 0.96$) entre la concentración de clorofila

Cuadro 3. Unidades SPAD determinadas en los fragmentos de hojas de tomate a diferentes niveles de clorosis.

Intervalo	Mínima	Máxima	Media
0 a 20.0	7.73	15.37	13.18
20.1 a 30.0	24.33	25.38	24.86
30.1 a 40.0	33.92	35.56	34.93
40.1 a 50.0	45.44	47.30	46.09
50.1 a 60.0	53.02	53.93	53.50

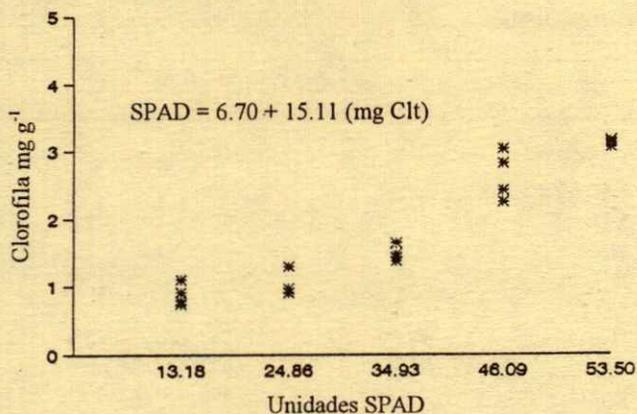


Figura 1. Correlación entre clorofila extractable y unidades SPAD en plantas de tomate variedad Río Grande.

extractable y las unidades SPAD (Figura 1), lo cual representa una gran ventaja al poder substituir la determinación de clorofila por el método tradicional (que es un método destructible) por la simple lectura de unidades SPAD, ya que el tiempo que se utiliza para 20 muestras en las determinaciones por el método tradicional es de por lo menos cuatro horas, las determinaciones de unidades SPAD en 20 plantas diferentes se hace en 10 minutos.

Estos resultados son similares a los reportados por Marquard y Tipton (1987), quienes aplicaron este mismo estudio a 12 cultivos de hortalizas, leguminosas, flores y frutales. En este estudio la correlación entre ambas variables fue entre 0.90 y 0.97. Krugh *et al.* (1994) seleccionaron hojas de maíz de diferentes tonalidades; les determinaron las unidades SPAD y cuantificaron la clorofila extractable, sus resultados mostraron alta correlación entre ambos parámetros ($r = 0.96$).

En el presente trabajo la correlación entre el porcentaje de nitrógeno y las unidades SPAD de los cortes fue similar a la hallada con la clorofila ($\alpha = 0.01$ y $r = 0.96$) (Figura 2). Con los datos obtenidos se integraron las ecuaciones presentadas en el Cuadro 4.

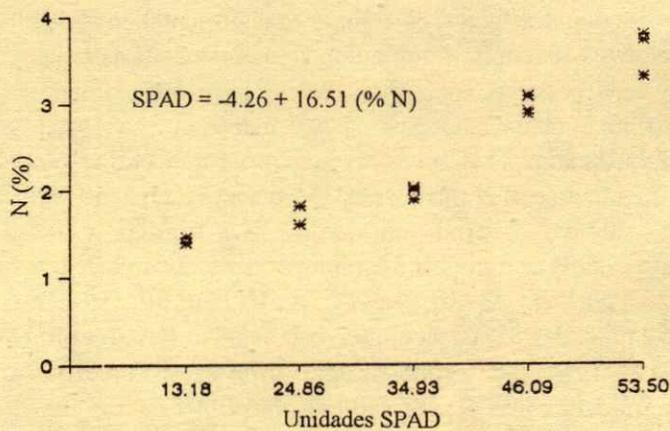


Figura 2. Correlación entre nitrógeno total y unidades SPAD en hojas de tomate variedad Río Grande.

Cuadro 4. Coeficiente de regresión de unidades SPAD aplicado a clorofila extractable y nitrógeno total en plantas de tomate cultivar Río Grande.

Variable	Ordenada al origen β_0	Pendiente β_1	r^2	C V %
Clorofila total	6.7032	15.1166	0.86	16.26
Nitrógeno total	-4.2671	16.5131	0.89	14.60

Las ecuaciones de regresión fueron utilizadas para determinar clorofila (Cuadro 5) y nitrógeno (Cuadro 6) como una variable complementaria en la selección de fertilizantes foliares. Los resultados mostrados en los cuadros indican cómo disminuye el contenido de clorofila y nitrógeno en la medida en que se desarrolla el cultivo. Se hizo un análisis estadístico y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, pero sí entre días después del trasplante (Cuadro 7).

En el Cuadro 7 se indica que los valores más altos de estas variables se obtuvieron en las plantas a los 45 días después del trasplante y los más bajos en las plantas de 90 días. Si se toma en cuenta que la lectura con el SPAD-502 se hace en las hojas, los resultados obtenidos corresponden a lo reportado por Wilcox (1994) que indica que conforme transcurren los días después del trasplante y se desarrolla la planta de tomate, el contenido de nitrógeno en las hojas disminuye para incrementarse en la planta completa y

Cuadro 5. Contenido de clorofila en plantas de tomate desarrolladas en tepetate y suelo agrícola.

Tratamiento	Días después del trasplante			
	45	60	75	90
----- m g ⁻¹ materia fresca -----				
Tepetate				
Testigo absoluto	2.41c	3.13a	2.46a	2.32a
Fertilización al suelo equivalente a 200 kg de N y 100 kg de P ₂ O ₅	3.52a	2.96a	2.38a	2.44a
Fertilización base†+ fertilizante foliar N1	3.30ab	2.89a	2.57a	2.49a
Fertilización base†+ fertilización N2	3.34a	2.81a	2.48a	2.45a
Fertilización base†+ fertilización N3	3.46a	2.65a	2.58a	2.73a
Fertilización base†+ fertilización foliar Bayfolan	3.44a	2.76a	2.38a	2.46a
Suelo agrícola				
Testigo absoluto	2.77bc	2.75a	2.53a	2.32a
Fertilización al suelo equivalente a 200 kg de N y 100 kg. de P ₂ O ₅	3.42a	2.81a	2.47a	2.56a
Fertilización base†+ fertilizante foliar N1	3.52a	3.01a	2.37a	2.37a
Fertilización base†+ fertilizante foliar N2	3.35ab	2.84a	2.52a	2.60a
Fertilización base†+ fertilizante foliar N3	3.35ab	2.80a	2.77a	2.66a
Fertilización base†+ fertilizante foliar Bayfolan	3.28ab	2.84a	2.60a	2.63a

† Fertilización base equivalente a 150 kg de N y 70 kg de P₂O₅.

Cuadro 6. Concentración de nitrógeno en plantas de tomate desarrolladas en tepetate y suelo.

Tratamiento	Días después del trasplante			
	45	60	75	90
----- % -----				
Tepetate				
Testigo absoluto	2.86c	3.55a	2.91a	2.78a
Fertilización al suelo equivalente a 200 kg de N y 100 kg de P ₂ O ₅	3.87a	3.37a	2.84a	2.93a
Fertilización base† + fertilizante foliar N1	3.69ab	3.28a	3.01a	2.94a
Fertilización base† + fertilización N2	3.65a	3.23a	2.93a	2.90a
Fertilización base† + fertilización N3	3.74a	3.08a	3.02a	3.16a
Fertilización base† + fertilización foliar Bayfolan	3.81a	3.19a	2.85a	2.91a
Suelo agrícola				
Testigo absoluto	3.20bc	3.19a	2.97a	2.78a
Fertilización al suelo equivalente a 200 kg de N y 100kg de P ₂ O ₅	3.80a	3.24a	2.92a	3.01a
Fertilización base† + fertilizante foliar N1	3.88ab	3.60a	2.83a	2.83a
Fertilización base† + fertilizante foliar N2	3.73ab	3.26a	2.97a	3.04a
Fertilización base† + fertilizante foliar N3	3.73ab	3.23a	3.19a	3.09a
Fertilización base† + fertilizante foliar Bayfolan	3.67ab	3.26a	3.04a	2.63a

† Fertilización base equivalente a 150 kg de N y 70 kg de P₂O₅.

Cuadro 7. Valores promedio de unidades SPAD, clorofila y nitrógeno en plantas de tomate.

Días después del trasplante	Unidades SPAD	Clorofila	Nitrógeno
		mg g ⁻¹ de planta	%
45	56.11	3.26	3.64
60	49.98	2.88	3.29
75	44.73	2.51	2.96
90	44.68	2.50	2.95

en el fruto. En el caso del presente trabajo las unidades SPAD y la clorofila y nitrógeno calculado se reducen cuando se tiene fruto.

Aunque no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos en unidades SPAD, sí la hubo en rendimiento de fruto por planta (Figura 3). En la Figura 3a se presentaron valores de unidades SPAD a los 90 días después del trasplante en plantas desarrolladas en tepetate, así como la producción de tomate por unidad donde hubo diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.01$). El fertilizante foliar N3 aplicado, como complemento a la fertilización al suelo incrementó el rendimiento de fruto en plantas que crecieron en el tepetate. Estos resultados indican que hay efecto de las diferentes formulaciones foliares sobre el rendimiento por planta.

La Figura 3b ilustra las unidades SPAD a los 90 días después del trasplante en plantas desarrolladas en el suelo agrícola y la producción de tomate por planta, en estos tratamientos la producción se incrementó en comparación con la de plantas que crecieron en tepetate. El fertilizante foliar N1 aplicado como complemento a la fertilización al suelo aumentó el peso de frutos por planta.

En la mayoría de los trabajos publicados donde correlacionan las unidades SPAD con nitrógeno o clorofila, se presenta la misma tendencia, incluso es factible dar seguimiento al contenido de nitrógeno en el desarrollo del cultivo con el manejo del SPAD-502. Wood *et al.* (1992) lo hicieron en algodón y lo correlacionaron con el rendimiento.

CONCLUSIONES

Se encontró una alta correlación entre unidades SPAD, concentración de clorofila extractable en la quinta hoja y porcentaje de nitrógeno en la misma.

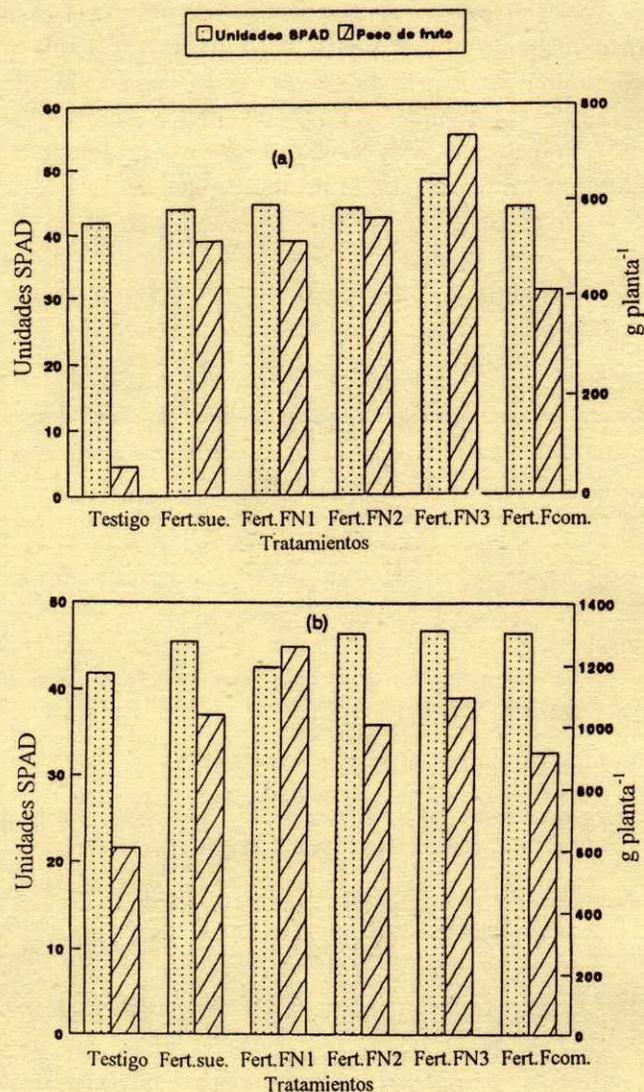


Figura 3. Unidades SPAD a los 90 días después del trasplante y rendimiento de tomate en plantas crecidas en (a) tepetate o (b) suelo agrícola y fertilizadas via foliar.

Se obtuvieron las ecuaciones de regresión para estimar el contenido de clorofila y de nitrógeno total en tomate a partir de las unidades SPAD.

No se encontró una correlación directa entre unidades SPAD y el rendimiento de fruto por planta.

Se demostró la facilidad de utilización del SPAD-502 (Minolta), así como el ahorro en tiempo por rapidez con que se hace la determinación.

Se recomienda medir las unidades SPAD en plantas de tomate de diferentes hábitos de crecimiento, diferentes estados fenológicos y niveles de nutrición

para obtener regresiones que puedan utilizarse en invernadero y campo.

LITERATURA CITADA

- Bremner, L.M. y C.S. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. pp. 595-634. *In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (Agronomy 9)*. Page, R., H. Miller and D.R. Keeney (eds): 2nd edition. ASA, S.S.A. Madison, Wisconsin, USA.
- Bruinsma, J. 1963. The quantitative analysis of chlorophyll a and b in plant extracts. *Protochem and Photobiol* 2: 241-249.
- Follet, R.H., R.F. Follet y A.D. Halverson. 1992. Use a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 687-697.
- Fox, R.H., P. Piekielek y K.M. MacNeal. 1994. Using chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Comm. Soil Plant Anal.* 25: 171-181.
- Hiderman, J., A. Makino, Y. Kurita, T. Masa y K. Ojima. 1992. Changes in the levels of chlorophyll and light-harvesting chlorophyll a/b protein of PS II in senescence. *Plant Cell Physiol.* 53: 1209-1214.
- Kantety, R.V., E. van Santen, F.M. Woods y C.W. Wood. 1996. Chlorophyll meter predicts nitrogen status of tall fescue. *Plant Nutr.* 19: 881-889.
- Krugh, B., L. Bichham y D. Miles. 1994. The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *Maize genetics cooperation. News Letter* 68: 25-27.
- Marquard, D.R. y J.L. Tipton. 1987. Relationship between extractable chlorophyll and on *in situ* method to estimate leaf greenness. *HortSciences* 22: 1327.
- Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyll pigments extracted with N.N-dimethylformamide. *Plant Physiol.* 69: 1376-1381.
- Piekielek, W.P. y R.H. Fox. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict nitrogen requirements for maize. *Agron. J.* 84: 59-65.
- Reeves, W.D., P.L. Mask, C.W. Wood y D.P. Delay. 1993. Determination of wheat nitrogen status with a handheld chlorophyll meter. Influence of management practices. *J. Plant Nutr.* 16: 7781-7796.
- Sachdchina, T.M. y V.V. Dimitrieva. 1995. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. *Plant Nutr.* 18: 1427-1437.
- Turner, F.T. y M. F. Jund. 1991. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semiwardf rice. *Agron J.* 83: 926-928.
- Wilcox, E.G. 1994. Tomato. pp. 127-141. *In: N.F. Bennett (ed.). Nutrient deficiencies of toxicities in crop plants.* APS Press. American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota. USA.
- Wood, C.W., P.W. Tracy, D.W. Reeves y K.L. Edmisted. 1992. Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter. *J. Plant Nutr.* 15: 1435-1448.
- Wood, C.W., D.W. Reeves y D.G. Himelrich. 1994. Relationships between chlorophyll meter reading and crop chlorophyll concentration, N status, and yield: A review *Proc. Agron. Soc. New Zealand* 23: 1-9.
- Yadava, V.L. 1986. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *Hort. Science* 21: 1449-1495.

EFECTO DE LA CONDICION NUTRIMENTAL DE LAS PLANTAS Y DE LA COMPOSICION, CONCENTRACION Y pH DEL FERTILIZANTE FOLIAR, SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD EN TOMATE

Effect of the Nutrient Status of Plants and the Composition, Concentration and pH of Foliar Fertilizer on Yield and Quality of Tomato

Julio César Hidalgo González¹, Gabriel Alcántar González², Gustavo A. Baca Castillo², Prometeo Sánchez García² y J. Alberto Escalante Estrada³

RESUMEN

Se estudió el efecto de la fertilización foliar en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Floradade en función de su condición nutrimental (solución nutritiva universal de Steiner al 100 (E1) y al 50 % (E2) de su composición), así como de dos formulaciones químicas [$\text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (S1) y $\text{KNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{MgO}$ (S2)], la concentración [1 (C1) y 2 % (C2)] y el pH [5.0 (P1) y 6.5 (P2)] de la solución asperjada al follaje sobre el rendimiento y la calidad del fruto. El sistema de producción fue en invernadero bajo condiciones de hidroponía en circuito cerrado, con renovación de la solución nutritiva cada 15 días. La distribución de los tratamientos fue con el diseño completamente al azar, cada uno con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por una planta. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento E1S1C2P1 (4.50 kg planta⁻¹) y el menor, en el tratamiento E1S1C1P2 (1.99 kg planta⁻¹). Aunque el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), la diferencia de rendimiento entre estos tratamientos fue de 2.51 kg planta⁻¹ y de 0.25 y 2.14 kg planta⁻¹ comparado con el testigo 1 y el testigo 2, respectivamente, los cuales no recibieron fertilización foliar. La aplicación de soluciones foliares en tomate desarrollado en una solución nutritiva de Steiner al 100 % tuvo un efecto positivo sobre el número de frutos grandes con un incremento promedio de 23.0 % (0.9 frutos) y 56.4 % (2.2 frutos) en comparación con los testigos 1 y 2, respectivamente. La aspersión de fertilizantes foliares en tomate desarrollado en las soluciones nutritivas al 100 % y 50 % incrementó significativamente el contenido de

sólidos solubles 7.35 % en promedio, en comparación con los testigos 1 y 2.

Palabras clave: Hidroponía, sólidos solubles, invernadero.

SUMMARY

The foliar fertilization on tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Floradade was evaluated, as a function of nutrient status (universal nutrient solution of Steiner 100 % (E1) and 50 % (E2) of its composition), as well as two chemical formulae [KNO_3 plus $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (S1) and KNO_3 , H_3PO_4 plus MgO (S2)], the concentration [1 (C1) and 2 % (C2)] and the pH [5.0 (P1) and 6.5 (P2)] of the solution sprayed to the foliage. The study was conducted in greenhouse under soilless culture in closed circuit, where the nutrient solution was renewed every two weeks. The distribution of the treatments in agreement with a completely randomized design, each one replicated three times. The experimental unit was constituted by one plant. The highest yield of tomato fruits was obtained with the treatment E1S1C2P1 (4.50 kg plant⁻¹) and the lowest, with the treatment E1S1C1P2 (1.99 kg plant⁻¹). Although the statistical analysis has not demonstrated significance ($P < 0.05$) between treatments, the yield difference in these treatments was 2.51 kg plant⁻¹ and 0.25 and 2.14 kg plant⁻¹ versus control treatments 1 and 2, respectively, which have not received foliar fertilization. The number of big size fruits was increased 23.0 % (0.9 fruits) and 56.4 % (2.2 fruits) with the application of foliar solutions in tomato plants developed at complete Steiner solution (100 %) versus control treatments 1 and 2, respectively. A significant increase of soluble solids in fruits (7.35 %) was observed by effect of foliar fertilization in tomato

¹Fisiología Vegetal - IREGEP, ²Edafología - IRENAT, ³Botánica - IRENAT, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

plants developed in nutrient Steiner solutions at 100 % and 50 %, versus control treatments 1 and 2.

Index words: Soilless culture, soluble solids, greenhouse.

INTRODUCCION

La fertilización foliar es otra forma en que se puede abastecer a las plantas con nutrimentos y es una práctica agronómica de simple aplicación, la cual no ha sido plenamente aprovechada para los cultivos. La fertilización foliar es eficiente para corregir desórdenes nutrimentales y para lograr un adecuado nivel nutricional en las plantas. La cantidad de nutrimentos requeridos vía follaje es menor que cuando se aplica vía edáfica; así al utilizar menor cantidad de fertilizantes, se reduce el riesgo de contaminación ambiental por nitratos y otros agroquímicos (Gray, 1997). Con la fertilización foliar se evita, además, el riesgo de pérdidas económicas ya que, a la vez que se reduce la cantidad necesaria de fertilizantes, la aplicación se ubica en etapas fenológicas cercanas a la floración, que es cuando muchos cultivos muestran un marcado incremento en la actividad metabólica, incluyendo la absorción de nutrimentos (McVickarr *et al.*, 1963; Marschner, 1995). La fertilización foliar es una técnica de relevante utilidad en aquellos casos donde la disponibilidad nutrimental es un problema, además de que constituye el medio más rápido para que las plantas utilicen los nutrimentos (Tisdale y Nelson, 1985; Marschner, 1995) y aunada a la fertilización edáfica puede incrementar la producción y calidad de los cultivos a pesar de la desventaja que pudiera representar su costo de aplicación. La presente investigación tuvo el objetivo de estudiar el efecto de la fertilización foliar sobre algunas variables relacionadas con el rendimiento, estado nutrimental y la magnitud y calidad del rendimiento en función de la condición nutrimental de las plantas de tomate. Con tal propósito se hizo variar la composición química, la concentración y el pH de la solución utilizada en la fertilización foliar.

MATERIALES Y METODOS

Se desarrollaron plantas de tomate cv. Floradade, en hidroponía en el invernadero "Dr. Ramón Fernández González" del Colegio de Postgraduados, en Texcoco, México, del 12 de febrero al 05 de julio

de 1997. El sistema hidropónico que se empleó fue el de subirrigación en circuito cerrado con dos recipientes de 20 L en el que uno de ellos contenía 17 L de sustrato (tezontle rojo), en el cual se desarrollaron las plantas de tomate; y el otro recipiente, 9.5 L de solución nutritiva para efectuar los riegos por gravedad. Se trasplantaron dos plántulas por maceta a los 45 días después de la siembra y posteriormente se realizó un aclareo para dejar la más vigorosa. A los 20 días después del trasplante (ddt) se efectuó la instalación de tutores.

Se aplicaron dos riegos diariamente, el primero al inicio de la mañana y el segundo por la tarde, conforme a la recomendación de Steiner (1976). La solución nutritiva se renovó cada 15 días y el pH se ajustó cada tercer día a 5.0 ó 6.5 según el tratamiento. La solución se aforó diariamente a su volumen original para reponer el agua evapotranspirada. En el experimento se utilizaron la solución nutritiva universal de Steiner (1968) al 100 % y esta misma diluida al 50 % de su composición original. La concentración de los micronutrimentos empleados en las soluciones nutritivas fue la siguiente (en mg L⁻¹): 4 Fe, 1.6 Mn, 0.023 Zn, 0.11 Cu y 0.865 B (Baca, 1983). El Fe se suministró a partir de sulfato ferroso (FeSO₄·7H₂O) y de quelato de hierro (Fe-EDTA).

La fertilización foliar consistió en la aplicación de dos soluciones con diferente formulación química (Cuadro 1), y se realizaron cuatro aspersiones durante el ciclo del cultivo, según el tratamiento, en prefloración (28 ddt), al tener frutos de 3 cm de diámetro (55 ddt) y posteriormente, cada dos semanas. A las soluciones aplicadas al follaje se les adicionó 0.1 % de detergente más 0.1 % de sacarosa. La aplicación de la solución al follaje de las plantas se hizo hasta el punto de goteo, durante las mañanas para aprovechar la humedad relativa alta y evitar daños al follaje (Muraoka y Neptune, 1977).

Los factores y niveles de estudio fueron los siguientes:

Factor	Nivel
(E) Condición nutrimental	(E1) Solución de Steiner al 100 % (E2) Solución de Steiner al 50 %
(S) Soluciones foliares	(S1) KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄ (S2) KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO
(C) Concentración de la solución foliar	(C1) 1 % (C2) 2 %
(P) pH de la solución foliar	(P1) 5.0 (P2) 6.5

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos estudiados en el experimento con plantas de tomate.

Tratamiento	Identificación	Solución nutritiva de Steiner	Solución foliar	Concentración total de la solución foliar	pH de la solución foliar
				%	
1	E1S1C1P1	100	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	1	5.0
2	E1S1C1P2	100	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	1	6.5
3	E1S1C2P1	100	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	2	5.0
4	E1S1C2P2	100	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	2	6.5
5	E1S2C1P1	100	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	1	5.0
6	E1S2C1P2	100	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	1	6.5
7	E1S2C2P1	100	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	2	5.0
8	E1S2C2P2	100	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	2	6.5
9	E2S1C1P1	50	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	1	5.0
10	E2S1C1P2	50	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	1	6.5
11	E2S1C2P1	50	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	2	5.0
12	E2S1C2P2	50	KNO ₃ + NH ₄ H ₂ PO ₄	2	6.5
13	E2S2C1P1	50	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	1	5.0
14	E2S2C1P2	50	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	1	6.5
15	E2S2C2P1	50	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	2	5.0
16	E2S2C2P2	50	KNO ₃ + H ₃ PO ₄ + MgO	2	6.5
17	Testigo 1		Solución nutritiva de Steiner al 100 %		
18	Testigo 2		Solución nutritiva de Steiner al 50 %		

En las soluciones foliares utilizadas se tuvo la misma relación nutrimental con respecto al total, variando únicamente un catión componente de cada solución, ya que una contenía amonio y la otra magnesio. De esta manera, las soluciones uno y dos estuvieron constituidas por la proporción nutrimental 1.0:0.2:1.0:0.2 de NO₃⁻, P, K, NH₄⁺ y NO₃⁻, P, K, Mg, respectivamente.

Los tratamientos obtenidos se arreglaron en el invernadero de acuerdo con el diseño completamente al azar, con tres repeticiones cada uno. La unidad experimental estuvo constituida por una maceta y una planta de tomate en cada una de ellas.

La cosecha se hizo en estado de fruto rojo y se inició a los 100 días después del trasplante. Los frutos se clasificaron de acuerdo con su diámetro ecuatorial en grandes (6.9 a 8.7 cm), medianos (4.7 a 6.8 cm) y pequeños (<4.6).

Las variables evaluadas fueron número de racimos por planta y número de frutos por racimo (promedio de cuatro muestreos), altura al primer tallo floral, altura final de la planta, rendimiento de frutos y su clasificación por tamaño, así como el contenido de sólidos solubles (refractómetro).

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento

El análisis de los resultados del Cuadro 2 muestra que no hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en el rendimiento por efecto de los tratamientos. La aplicación de soluciones foliares en tomate desarrollado en una solución de Steiner al 100 % (E1) tuvo un efecto negativo en el rendimiento. Este se vio afectado en 13.5 % en promedio, en comparación con aquellas plantas que recibieron las mismas aplicaciones pero desarrolladas éstas en una solución de Steiner al 50 % (E2). Seguramente, la aplicación de soluciones foliares en plantas de tomate desarrolladas en E1 ocasionaron un desbalance nutrimental en la misma y como consecuencia, el abatimiento de la producción. A mayor concentración de un nutrimento en la solución del suelo, menor absorción del mismo por vía extra-radicular, ya que la primera circunstancia incrementa la proporción de dicho elemento en la solución interna de la planta (Anónimo, 1972).

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento, número de frutos grandes y concentración de sólidos solubles en tomate.

Tratamiento	Rendimiento kg planta ⁻¹	No. de frutos grandes (Unidades)	Sólidos solubles (°Brix)
E1S1C1P1	4.27 a†	5.3 a	5.2 bde
E1S1C1P2	1.99 a	1.3 a	7.2 a
E1S1C2P1	4.50 a	3.0 a	5.3 bde
E1S1C2P2	3.36 a	2.0 a	5.9 bc
E1S2C1P1	3.15 a	3.0 a	5.3 bde
E1S2C1P2	2.56 a	2.7 a	5.9 b
E1S2C2P1	4.12 a	2.7 a	5.6 bd
E1S2C2P2	2.45 a	3.7 a	5.6 bd
E2S1C1P1	4.18 a	5.3 a	4.7 cde
E2S1C1P2	4.30 a	7.7 a	4.7 cde
E2S1C2P1	2.74 a	3.3 a	4.7 cde
E2S1C2P2	4.37 a	6.3 a	4.7 cde
E2S2C1P1	4.20 a	5.0 a	4.6 de
E2S2C1P2	4.17 a	3.3 a	4.4 e
E2S2C2P1	3.97 a	6.3 a	4.2 e
E2S2C2P2	3.07 a	1.3 a	4.9 bde
Testigo 1	4.25 a	3.0 a	5.1 bde
Testigo 2	2.36 a	1.7 a	5.1 bde

† Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales ($P < 0.05$).

El mayor rendimiento se observó en el tratamiento E1S1C2P1 (4.50 kg planta⁻¹) y el menor en el tratamiento E1S1C1P2 (1.99 kg planta⁻¹). Aunque el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas, debido posiblemente a insuficientes repeticiones y a altos coeficientes de variación, la diferencia de rendimiento entre estos tratamientos fue de 2.51 kg planta⁻¹ y de 0.25 y 2.14 kg planta⁻¹ comparado con el testigo 1 y el testigo 2, respectivamente, los cuales no recibieron fertilización foliar. Hidalgo (1993) encontró que la fertilización foliar como complemento a la fertilización edáfica en frijol, produjo un incremento del rendimiento de 33 % respecto al testigo, por efecto de la mezcla de nitrato de amonio más superfosfato de calcio triple y tres aplicaciones foliares a una concentración de 1 % y 0.25 %, respectivamente.

Los nutrientes pueden suministrarse en diferentes formas y su efectividad es generalmente la misma cuando se proporcionan en cantidades equivalentes (Redd y Tukey, 1979; Swietlik y Faust, 1984).

Al comparar las medias de los tratamientos donde el tomate creció en E1 y E2 se observa un efecto positivo de la solución preparada a base de KNO₃ + NH₄H₂PO₄ (S1) comparada con aquella que contenía KNO₃ + H₃PO₄ + MgO (S2) con un incremento

promedio de la producción de 0.46 kg planta⁻¹ y 0.18 kg planta⁻¹, respectivamente. Sin embargo, al comparar los resultados de producción por efecto de S1 y S2 en E1 contra T1, estos rendimientos fueron menores, lo que implica nuevamente que la aplicación de la fertilización foliar causó efectos negativos en el rendimiento. Velázquez *et al.* (1981) encontraron que en frijol el uso de nitrato de amonio, nitrato de potasio y urea como fuentes de nitrógeno produjeron incrementos en rendimiento de 10, 10 y 95 %, respectivamente.

La concentración de la solución foliar y la especie vegetal son los primeros factores que hay que considerar en una aspersión foliar, ya que las hojas se comportan de diferentes formas de acuerdo con la solución. Algunas resisten la aplicación de soluciones bastante concentradas y otras sufren quemaduras. Por otro lado, las aplicaciones de soluciones muy diluidas pueden hacer la práctica ineficaz (Thorne, 1995; De la Vega, 1969).

La aplicación de una solución foliar al 2 % en E1 incrementó la producción de frutos de tomate 27.8 % en promedio, comparado con la concentración al 1 % en E1, sin embargo, la aplicación de C2 en E2 tuvo un efecto negativo en el rendimiento y éste decayó 15.8 % en promedio, comparado con C1 en E2. Según Acosta (1991), la solución nutritiva aplicada al follaje debe tener mayor concentración que la solución interna de la planta, para que esa diferencia de concentración sea la que permita que los nutrientes puedan difundir al interior de la planta. El daño al follaje por efecto de altas concentraciones de la solución foliar es principalmente el resultado de un desequilibrio local de nutrientes en el tejido vegetal más que por efectos osmóticos (Marschner, 1995).

La absorción foliar depende del pH de la solución, debido a su efecto sobre la cutícula, en complejos fenómenos de repulsión y atracción electrostática que son regulados por el pH. Así, para cada nutriente existe un pH específico en el cual la absorción es máxima. Por lo tanto, el pH óptimo varía de acuerdo con la composición química de la solución (Acosta, 1991).

Se observa que el pH de la solución foliar de 5.0 tuvo un efecto positivo en la producción de tomate desarrollado en E1 (34.5 % en promedio) comparado con un pH de 6.5. La aplicación de una solución foliar con P1 en E2 aumentó el rendimiento 39.3 % en promedio, comparado con P2 en E2. El daño al follaje es menos severo cuando el pH de la solución foliar es bajo (Neumann *et al.*, 1983).

Número de Frutos Grandes

Los resultados del Cuadro 2 muestran que no hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en el número de frutos grandes (NFG) por efecto de los tratamientos. Sin embargo, la aplicación de soluciones foliares en tomate tuvo un efecto positivo sobre el NFG con un incremento promedio de 23.0 % (0.9 frutos) y 56.4 % (2.2 frutos) en comparación con los testigos 1 y 2, respectivamente. El mayor NFG se obtuvo en el tratamiento E2S1C1P2 (7.7 frutos) y el menor, en los tratamientos E1S1C1P2 y E2S2C2P2 (1.3 frutos).

Al comparar las medias de los tratamientos donde el tomate creció en E1 se observa un efecto positivo de la solución foliar S2 comparada con S1, con un incremento promedio del NFG de 11.3 %. Caso contrario ocurre cuando S1 se aplicó en E2 donde el incremento fue de 23.5 % (1.7 frutos) comparada con S2.

La aplicación de una solución foliar al 2 % en E1 incrementó la producción de frutos grandes de tomate (2.38 % en promedio), comparado con la concentración al 1 % en E1, sin embargo, la aplicación de C2 en E2 tuvo un efecto negativo en el rendimiento y éste fue menor 24.0 % en promedio, comparado con C1 en E2.

El pH de la solución foliar de 5.0 tuvo un efecto positivo en el NFG cuando se aplicó en E1 y E2 (22.8 y 8.5 %, respectivamente) comparado con un pH de 6.5.

Sólidos Solubles

Los sólidos solubles son importantes para definir la calidad de los frutos maduros de tomate, por lo tanto, estos deben contener más sólidos solubles cuando se destinan a la industrialización que los tomates para consumo en fresco. Villarreal (1982) afirma que los tomates para industrialización deben tener mínimamente 4.5 % °Brix de sólidos solubles, no más de 2 % de acidez titulable y un pH de 4.4.

El análisis de los resultados del Cuadro 2 muestra que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de sólidos solubles (SS) en fruto de tomate por efecto de los tratamientos. La aplicación de soluciones foliares en tomate desarrollado en E1 y E2 incrementó significativamente el contenido de SS (7.35 % en promedio), en comparación con los testigos 1 y 2. El mayor contenido de SS se observó en el tratamiento E1S1C1P2 (7.2 °Brix) y el menor, en el tratamiento E2S2C2P1 (4.2 °Brix). La aplicación

de S1 en E1 y E2 incrementó el contenido de SS 3.9 y 3.8 %, respectivamente, comparada con S2. La aplicación de C1 en E1 tuvo un efecto positivo sobre el contenido de SS con un incremento de 3.9 % comparado con C2. También se observa que el pH de la solución foliar de 6.5 aumentó el contenido de SS de tomate desarrollado en E1 y E2 (12.1 y 2.5 %, respectivamente) comparado con un pH de 5.0.

Componentes del Rendimiento

El análisis de los resultados del Cuadro 3 muestra que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) por efecto de los tratamientos en el número de racimos por planta (NRP) y altura final de la planta (AFP) y estadísticamente no se encontró significancia entre tratamientos en el número de frutos por racimo (NFR) y altura al primer racimo (APR).

La aplicación de soluciones foliares en tomate desarrollado en E1 tuvo un efecto negativo (13.7 %) sobre el NRP comparado con el testigo 1; sin embargo, el NRP se incrementó 13.5 % comparado con el testigo 2 cuando la fertilización foliar se hizo en E2.

La aspersión de soluciones foliares en E1 y E2 incrementó el NFR 3.0 y 7.7 %, en comparación con los testigos 1 y 2, respectivamente. El mayor NFR se observó en los tratamientos E2S2C1P1 y E2S2C1P2.

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento de plantas de tomate.

Tratamiento	Racimos/ planta	Frutos/ racimo	Altura al primer racimo	Altura final de la planta
	- - - unidades - - -		- - - cm - - -	
E1S1C1P1	11.8 ab†	4.1 a	15.0 a	56.0 ab
E1S1C1P2	12.6 ab	3.7 a	16.0 a	63.3 a
E1S1C2P1	15.0 ab	4.1 a	16.7 a	52.3 ab
E1S1C2P2	16.9 a	3.4 a	17.3 a	59.3 ab
E1S2C1P1	13.0 ab	3.8 a	15.0 a	51.7 ab
E1S2C1P2	10.7 b	3.6 a	16.3 a	55.7 ab
E1S2C2P1	12.1 ab	3.6 a	15.3 a	53.3 ab
E1S2C2P2	10.8 b	3.9 a	14.0 a	61.7 a
E2S1C1P1	10.7 b	3.9 a	14.3 a	56.3 ab
E2S1C1P2	12.0 ab	3.6 a	15.3 a	60.0 ab
E2S1C2P1	10.1 b	4.0 a	18.0 a	54.3 ab
E2S1C2P2	12.2 ab	4.1 a	17.3 a	60.0 ab
E2S2C1P1	14.5 ab	4.4 a	14.7 a	58.3 ab
E2S2C1P2	13.9 ab	4.4 a	16.0 a	56.0 ab
E2S2C2P1	11.9 ab	4.1 a	14.7 a	58.7 ab
E2S2C2P2	12.8 ab	3.6 a	14.3 a	54.3 ab
Testigo 1	14.9 ab	3.8 a	12.3 a	55.3 ab
Testigo 2	10.6 b	3.6 a	15.7 a	47.7 b

† Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales ($P < 0.05$)

(4.4) y el menor, en el tratamiento E1S1C2P2 (3.4). La aplicación de S1 en E1 incrementó el NFR 2.4 % y S2 en E2 5.0 %. La aplicación de C1 en E2 tuvo un efecto positivo sobre el NFR con un incremento de 2.6 % comparado con C2. El pH de la solución foliar de 5.0 aumentó el NFR en plantas de tomate desarrollado en E1 y E2 (6.1 y 4.4 %, respectivamente) comparado con un pH de 6.5.

La altura al primer racimo fue mayor en el tratamiento E2S1C2P1 (18.0 cm) y menor en el testigo 1 (12.3 cm). La AFP se incrementó significativamente por efecto de las aspersiones foliares 3.0 y 16.2 % comparado con los testigos 1 y 2, respectivamente.

CONCLUSIONES

La aplicación de soluciones foliares tuvo un efecto negativo en la producción de tomate desarrollado en la solución nutritiva de Steiner al 100 %. En este caso, el rendimiento se incrementó por efecto de la concentración de la solución foliar al 2 % (27.8 %) y el pH de 5.0 (34.5 %). El efecto positivo de la fertilización foliar se observó solamente cuando las plantas de tomate crecieron en una solución nutritiva de Steiner diluida al 50 % (1.5 kg planta⁻¹).

La aspersión de compuestos foliares en tomate incrementó el número de frutos grandes 23.0 % (0.9 frutos) y 56.4 % (2.2 frutos) en comparación con los testigos 1 y 2, respectivamente.

Los fertilizantes foliares aplicados en plantas de tomate incrementaron significativamente el contenido promedio de sólidos solubles en frutos 7.35 % (0.4 % °Brix) comparado contra los testigos 1 y 2.

LITERATURA CITADA

- Acosta Z.C. 1991. Mecanismos de absorción foliar de nutrimentos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Anónimo. 1972. Difusión extra-radicular de nutrientes en las plantas. Comisión Nacional de Fruticultura. Folleto No. 12. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México.
- Baca C., G.A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de doctorado. Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- De la Vega, J.Y. 1969. Manera eficaz de realizar un buen abonamiento foliar. El Campo, Ministerio de Agricultura. Madrid, España.
- Gray, R. 1977. Foliar fertilization with primary nutrients during the productive stage of plant growth. Proc. Fert. Soc.
- Hidalgo G., J.C. 1993. Fertilización edáfico-foliar en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Jamapa en Chapingo, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press Inc. Institute of Plant Nutrition. University of Hohenheim, Germany.
- McVickarr, M., G. Bridger y L. Nelson. 1963. Fertilizer technology and usage. 11a. Edición. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Muraoka, T. y A. Neptune. 1977. Effect of day time on foliar spraying of several levels of nitrogen fertilizer N, P, K, S solutions and its components, on common bean leaves. Anais do Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz 34: 493-495.
- Neumann, P.M., Y. Ehrereich y Z. Golab. 1983. Foliar fertilizer damage to corn leaves: relation to cuticular penetration. Agron. J. 73: 979-982.
- Redd, D.W. y H.B. Tukey Jr. 1979. Effect of pH foliar absorption on phosphorus compounds by chrysanthemum. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 337-340.
- Steiner, A.A. 1968. Soilless culture. Proceedings of the 6th colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy. Published by Int. Potash Inst Berne, Switzerland. p. 324-341.
- Steiner, A.A. 1976. The development of soilless culture and an introduction to the congress. IWOSC. Proceedings. p. 21-37.
- Swietlik, D. y M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. Horticultural Review. 7: 287-355.
- Tisdale, S. y W. Nelson. 1985. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Unión Tipográfica. Editorial Hispano-Americana, S.A. México.
- Thorne, G.N. 1995. Nutrient uptake from leaf sprays by crops. Field Crops Abstract 8: 147-152.
- Velázquez, M.J., J.L. Tirado T., S. Alcalde B. y G. Alcántar G. 1981. Fertilización foliar nitrogenada en diferentes estados fenológicos en *Phaseolus vulgaris* L. Memorias del XIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Villarreal, R.D. 1982. Jitomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

APLICACION DE ACIDO SULFURICO EN EL RIEGO CORRIGE LA CLOROSIS FERRICA DE LOS CULTIVOS EN SUELOS CALCAREOS

Sulphuric Acid Application to the Irrigation Water Corrects Iron-Chlorosis on Calcareous Soils

Vicente Lee Rodríguez¹, Manuel de Jesús Beltrán Fonseca², José Noé Lerma Molina³ y Lorena Patricia Licón Trillo⁴

RESUMEN

En suelos de origen calcáreo y reacción alcalina (pH 7.3 a 8.5) la mayoría de las especies que en ellos se cultivan presentan graves problemas de clorosis. Para corregirlas se han utilizado varias estrategias: mejoramiento genético, prácticas agronómicas, fertilización foliar y acidificación del suelo; ninguna ofrece alternativas que de origen resuelvan el problema. El objetivo de la investigación fue estudiar el uso de soluciones fertilizantes acidificadas, que se aplicaron tanto en el agua de riego como al suelo. La investigación se desarrolló en invernadero y campo. En invernadero las macetas se trataron con tres niveles de H₂SO₄ (AS); 0, 15 y 30 L ha⁻¹; tres de FeSO₄·4H₂O (SF); 0, 10 y 20 kg ha⁻¹ y cinco frecuencias de aplicación (FA); aplicados en el riego y el cultivo indicador fue sorgo. En campo se manejó la rotación trigo-sorgo durante tres años y se estudiaron las dosis de 15 L ha⁻¹ de AS, 20 kg ha⁻¹ de SF, 5 kg ha⁻¹ de ZnSO₄ (SZ), 2 kg ha⁻¹ de MnSO₄ (SM) y dos FA en el riego y 0.5 y 1.0 t ha⁻¹ de AS directos al suelo y un testigo dando un total de 11 tratamientos. En ambos estudios se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres y dos repeticiones. La aplicación de SF con AS comercial aforado en el agua de riego corrigió la clorosis férrica en sorgo y la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de SF con 15 L ha⁻¹ de AS industrial con FA fue el mejor tratamiento tanto a nivel invernadero como de campo y se obtuvieron las mejores producciones de sorgo y trigo. El zinc y el

manganeso sólo incrementaron significativamente los rendimientos de sorgo. La metodología de aplicar al AS comercial en dosis bajas, solo y/o con Fe, Zn o Mn en el riego, puede ser usada en suelos calcáreos para corregir deficiencias, sin serios problemas en su manejo, resultando más económico y técnicamente más eficiente que las aplicaciones de 1.0 t ha⁻¹ de AS (1800 kg ha⁻¹) directas al suelo.

Palabras clave: Origen, dosis bajas, aplicación directa, eficiencia, fierro, zinc.

SUMMARY

The majority of crops that grow on alkaline and calcareous soils show serious chlorosis problems. To correct these problems, several strategies have been used, such as genetic improvement, agronomic practices, foliar fertilizers and soil acidification; but none of them offer an alternative to correct the original problem. The objective of this research was to study the effect of acid fertilizer solutions applied both to the irrigation water and to the soil. This research was conducted under greenhouse and field conditions. The pots were treated with three levels of H₂SO₄ (AS) 0, 15 and 30 L ha⁻¹, three levels of FeSO₄·4H₂O (SF) 0, 10, and 20 kg ha⁻¹ and five application frequencies (FA), applied on the irrigation water using sorghum as the indicator crop. Under field conditions during three years the rotation wheat-sorghum was used. The dosages studied were AS 15 L ha⁻¹, SF 20 kg ha⁻¹, ZnSO₄ (SZ) 5 kg ha⁻¹, MnSO₄ (SM) 2 kg ha⁻¹ and two FA in the irrigation water and directly to the soil 0.5 and 1.0 t ha⁻¹ of AS and a control, giving a total of 11 treatments. In both studies a randomized complete block design was used with three and two replications. The SF application with industrial AS to the irrigation water corrected sorghum iron chlorosis. The levels of 20 kg ha⁻¹ SF with 15 L ha⁻¹ as at one FA was the best treatment under greenhouse and field conditions, also

¹ UAM-Agronomía y Ciencias, UAP, Cd. Victoria, Tamps.

² Campo Agrícola Experimental, Valle del Mayo, INIFAP, Navojoa, Son.

³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, UNACH, Huehuetán, Chiapas.

⁴ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UACH, Cd. Delicias, Chih.

Aceptado: Marzo de 1998.

the best wheat and sorghum productions were obtained with those dosages. The application methodology of commercial AS at low dosages alone or with SF, SZ or SM on the irrigation water, can be used on calcareous soil to correct deficiencies without serious management technical problems, it is more efficient and cheaper than the direct application of 1.0 t ha⁻¹ of AS (1800 kg ha⁻¹) on the soil.

Index words: Origin, low dosages, straight application, efficiency, iron, zinc.

INTRODUCCION

En suelos de origen calcáreos y reacción alcalina (pH 7.3 a 8.5) la mayoría de las especies que en ellos se cultivan presentan el grave problema de clorosis, fenómeno que es provocado por la baja disponibilidad de algún microelemento. Las clorosis más comunes son la férrica y de zinc.

La importancia de los elementos hierro y zinc en la fisiología y desarrollo de los cultivos ha sido ampliamente estudiada; Watanabe *et al.* (1965), Salisbury *et al.* (1969), Clarkson *et al.* (1980), Mengel y Kirkby (1987) y Black (1993) detallan las funciones y procesos metabólicos, enzimáticos y nutrimentales en donde intervienen estos elementos resaltando su esencialidad para lograr óptimo desarrollo y producción de los cultivos.

Se señala que de 50 % a 60 % del territorio de México, posee características potenciales para que se manifieste este tipo de clorosis, aunque no se ha cuantificado con exactitud la magnitud del problema (Amparano, 1973). En las áreas agrícolas del norte se han detectado disminuciones de rendimiento de hasta 80 % en cultivos de soya, sorgo, maíz, cacahuate, nogal y papa, llegando en algunos casos al extremo de tener que abandonar extensas áreas productivas por causa indicada y/o sembrar cultivos tolerantes como chile, alfalfa, etc. (Lee y Lerma, 1991).

La clorosis de las plantas que crecen en los suelos calcáreos es inducida y sus causas son complejas. Entre los factores que intervienen se han señalado: altos contenidos de carbonato y bicarbonato solubles, pH elevado, exceso de humedad, alto contenido de elementos pesados y antagonismo con otros elementos (Wallace *et al.*, 1974; Brown y Jones, 1975; Wallace, 1978; Wallace y Muller, 1978; Patil, 1980; Brown y Holmes, 1995).

Para corregir los problemas de clorosis se han utilizado algunas estrategias:

Mejoramiento genético. La solución de genotipos con habilidad natural para obtener hierro y zinc de soluciones de suelo con bajos niveles de estos elementos ha tenido cierto éxito (Brown *et al.*, 1972; Mikesell *et al.*, 1973; García, 1980; Niebur y Fehr, 1981), y ofrece una alternativa de solución económica a largo plazo.

Prácticas agronómicas. Se refiere al empleo de medios físicos, tales como pre-inundación del suelo para incrementar la actividad microbiana y crear condiciones de reducción temporal que contribuyan a aumentar la solubilidad de los elementos trazas (Lucas y Knezer, 1972; Longoria, 1973; García, 1978); labranza mínima, mejoramiento del manejo del agua y drenaje. En la práctica se ha observado que en ciertos suelos arcillosos con alta capacidad de retención de humedad la escarda profunda reduce los problemas de clorosis. Sin embargo, el uso de soluciones de índole físico está restringido a situaciones particulares y condiciones de suelo y cultivo muy específicas.

Fertilización foliar. Las aplicaciones de soluciones que contienen hierro y zinc han sido una de las estrategias más comunes para corregir las deficiencias de estos elementos. Soluciones de sulfato ferroso de 2 a 12 % y de sulfato de zinc de 1 a 5 % asperjando con una frecuencia de dos a 10 aplicaciones por ciclo, dependiendo de la severidad de la deficiencia y tipo de cultivo, son recomendadas para este fin (Juárez *et al.*, 1972), sin embargo, la concentración de la solución y la oportunidad de aplicación deben observarse cuidadosamente para evitar quemaduras y lograr la máxima eficiencia (Uvalle, 1982; Galván, 1985; Mengel y Kirkby, 1987).

Aunque las aplicaciones foliares corrigen o reducen las deficiencias, no solucionan el problemas en su origen. Más aún se ha detectado que al transcurrir el tiempo de uso de tales soluciones, es necesario aumentar su concentración y número de aplicaciones, sin que se lleguen a corregir satisfactoriamente las deficiencias (Juárez *et al.*, 1972). Las aplicaciones, además, se ven limitadas por las condiciones de humedad del suelo y por la altura del cultivo que impiden la entrada de la maquinaria. El uso de la vía aérea puede resultar antieconómico en el caso de cultivos con un reducido margen de utilidad, como son los básicos.

Acidificación de suelo. Esta es una alternativa que consiste en aprovechar la potencialidad del ácido sulfúrico para bajar temporalmente el pH en la zona de aplicación y así activar la solubilidad de los nutrimentos (Miyamoto *et al.*, 1975; Yahia *et al.*, 1975), el fenómeno es posible por el aumento de la solubilidad de muchos compuestos que contienen hierro y zinc, así como Mn, Ca y P, al disminuir el pH, lo cual se traduce en incrementos significativos del rendimiento (Lucas y Kneze, 1972; Nefae, 1978; Ryan y Stroehlein, 1979; Essington y O'Connor, 1980; Frank y Fehr, 1982; McCaslin *et al.*, 1985). La aplicación de AS al suelo también mejora sus propiedades físicas; Overstreet *et al.* (1951) atribuyeron el buen desarrollo de los cultivos en suelos calcáreos tratados con ácido al mejoramiento de la estructura del suelo y penetración del agua. La aplicación de 0.5 t ha⁻¹ de AS mejoró significativamente la velocidad de infiltración de un suelo sódico, pero dosis mayores de 6 t ha⁻¹ provocaron solubilización y movilización de altas cantidades de sales, que al neutralizarse por la acción del ácido se precipitaron formando una capa de silicatos fierro-alumino altamente impermeable (O'Connor y Lee, 1978).

Miyamoto *et al.* (1975) hicieron una extensa revisión de los beneficios potenciales del AS en los suelos calcáreos del área agrícola del suroeste de los Estados Unidos.

Debido a las características altamente corrosivas de AS, que dificultan y hacen peligroso su manejo, su uso no se ha extendido, es necesario investigar, por tanto, alternativas que de origen resuelvan los problemas de clorosis de los cultivos que se desarrollan en los suelos calcáreos-alcálicos. El objetivo del presente estudio fue estudiar el uso de soluciones fertilizantes acidificadas, que se aplicaron tanto al agua de riego como inyectados al suelo.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrolló en dos fases: invernadero y campo, en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Fase-Invernadero

Se usó un suelo de la serie Bachimba (Distrito de Riego No. 05) en donde el cultivo de sorgo mostró una severa clorosis férrica. De este sitio se tomó una muestra compuesta de 1.5 t (de 0 a 30 cm de profundidad), la cual se secó al aire y se pasó por un tamiz de 4 mm, después de ser homogeneizada, en una submuestra representativa se midieron algunas de sus características químicas y físicas (Cuadro 1). Las macetas empleadas fueron de 24.5 cm de diámetro y 23 cm de altura, las que se llenaron con 7 kg de suelo y se compactaron a una densidad de 1.36 g cm⁻³.

Las macetas se trataron con tres niveles de AS industrial (96 % pureza y 1.8 g cm⁻³): 0, 15 y 30 L ha⁻¹; tres niveles de FeSO₄·4H₂O (SF) comercial: 0, 10 y 20 kg ha⁻¹; y cinco frecuencias de aplicación (FA): 1 y 2, 1, 2 y 3, 1, 2, 3, y 4 y 1, 2, 3, 4 y 5 riego de auxilio, es decir cubrió el primero hasta el último riego en forma intermitente acumulativa dando un total de 45 tratamientos (Cuadro 2). Los niveles de AS y SF fueron seleccionados con base en experiencias prácticas anteriores.

Cuadro 1. Caracterización física y química del suelo experimental y agua del Distrito de Riego 05, Cd. Delicias, Chihuahua.

Parámetro	Suelo	Agua de la presa†
Textura	franco-arenoso	
Arena (%)	77.0	
Limo (%)	11.6	
Arcilla (%)	11.4	
pH (extracto sat.)	8.0	7.8
Conductividad eléctrica (munho cm ⁻¹)	1.1	0.41
Cationes solubles		
Ca (meq L ⁻¹)	12.0	4.7
Mg (meq L ⁻¹)	2.8	0.8
Na (meq L ⁻¹)	5.6	2.0
K (meq L ⁻¹)	1.8	0.7
Aniones solubles		
CO ₃ (meq L ⁻¹)	0.0	0.4
HCO ₃ (meq L ⁻¹)	4.1	5.7
Cl (meq L ⁻¹)	9.8	0.1
SO ₄ (meq L ⁻¹)	12.5	2.7
CaCO ₃ -total (%)	17.5	
Fe-DTPA (ppm)	3.0	
Zn-DTPA (ppm)	0.8	
Sólidos totales solubles		262.4
RAS	1.1	
Clasificación		C2S1

† Presa: Francisco I. Madero. Cd. Delicias, Chihuahua.

Cuadro 2. Relación de tratamiento correspondiente a la fase invernadero.

Tratamiento	H ₂ SO ₄ L ha ⁻¹	FeSO ₄ ·4H ₂ O kg ha ⁻¹	Frecuencia de aplicaciones Número de riegos					
			1	2	3	4	5	
1	0	1	1					
2	0	10	1					
3	0	20	1					
4	15	0	1					
5	15	10	1					
6	15	20	1					
7	30	0	1					
8	30	10	1					
9	30	20	1					
10	0	0	1	1				
11	0	10	1	1				
12	0	20	1	1				
13	15	0	1	1				
14	15	10	1	1				
15	15	20	1	1				
16	30	0	1	1				
17	30	10	1	1				
18	30	20	1	1				
19	0	0	1	1	1			
20	0	10	1	1	1			
21	0	20	1	1	1			
22	15	0	1	1	1			
23	15	10	1	1	1			
24	15	20	1	1	1			
25	30	0	1	1	1			
26	30	10	1	1	1			
27	30	20	1	1	1			
28	0	0	1	1	1	1		
29	0	10	1	1	1	1		
30	0	20	1	1	1	1		
31	15	0	1	1	1	1		
32	15	10	1	1	1	1		
33	15	20	1	1	1	1		
34	30	0	1	1	1	1		
35	30	10	1	1	1	1		
36	30	20	1	1	1	1		
37	0	0	1	1	1	1	1	
38	0	10	1	1	1	1	1	
39	0	20	1	1	1	1	1	
40	15	0	1	1	1	1	1	
41	15	10	1	1	1	1	1	
42	15	20	1	1	1	1	1	
43	30	0	1	1	1	1	1	
44	30	10	1	1	1	1	1	
45	30	20	1	1	1	1	1	

Como planta indicadora se usó sorgo cv. Funks-G577 a razón de seis plantas por maceta. El suelo recibió una fertilización básica de 160, 35 y 50 kg de N, P₂O₅ y K₂O ha⁻¹, respectivamente, la cual correspondió a 6.70 g de urea, 3.30 g de superfosfato

triple y 1.92 g de cloruro de potasio por maceta, calculados con base en el volumen de exploración de las raíces previamente determinado en campo de las plantas en una hectárea de suelo (Terman, 1974). El nitrógeno y el potasio se aplicaron en forma líquida y el fósforo se incorporó. Los riegos se hicieron con agua de la presa, cuya calidad se presenta en el Cuadro 1. El criterio empleado para este efecto se basó en observaciones de comportamiento de la humedad en algunas macetas que no pertenecieron al experimento, pero estaban incluidas en el diseño.

En el primer riego se aplicaron 2.5 L y en los siguientes 2.0 L por maceta.

Con base en el comportamiento térmico del invernadero, se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones y los tratamientos correspondieron a un factorial completo 3x3x5.

Para establecer los tratamientos, se prepararon soluciones que contenían en un litro de solución 75 y 150 mL de AS, y 50 y 100 g de SF; de estas soluciones se aplicaron 2 mL por maceta. El pH del agua de riego que se aplicó para la adición de los tratamientos se presenta en el Cuadro 3.

El pH de cada tratamiento se midió con un potenciómetro digital de baterías a 1.5 cm de profundidad al momento de cada riego, hasta que el suelo alcanzó su capacidad amortiguadora. Se tomaron cuatro lecturas en cuatro minutos. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron 10 evaluaciones visuales del grado de clorosis que presentaban las plantas de sorgo (Amparano, 1973).

A los 60 días después de la siembra las plantas se cortaron al ras del suelo, se secaron en la estufa a 68 °C para evaluar su peso seco y en una submuestra

Cuadro 3. Valores promedio de pH del agua de la presa con la adición del tratamiento.

Tratamiento	pH
0 L ha ⁻¹ de AS	7.8
15 L ha ⁻¹ de AS	3.4
30 L ha ⁻¹ de AS	3.0
0 kg ha ⁻¹ de SF	7.8
10 kg ha ⁻¹ de SF	7.0
20 kg ha ⁻¹ de SF	6.8
15 L ha ⁻¹ de AS + 10 kg ha ⁻¹ de SF	3.4
15 L ha ⁻¹ de AS + 20 kg ha ⁻¹ de SF	3.3
30 L ha ⁻¹ de AS + 10 kg ha ⁻¹ de SF	3.1
30 L ha ⁻¹ de AS + 20 kg ha ⁻¹ de SF	3.0

AS = Acido sulfúrico. SF = Sulfato ferroso.

de material molido se determinaron los contenidos de hierro y zinc por digestión húmeda (Piper, 1944), dichos elementos fueron cuantificados por absorción atómica.

En cada maceta se tomaron muestras de suelo de 0 a 5 cm, en las que se determinó CaCO_3 -total (Allison y Moodie, 1965). Además se formó una muestra compuesta por tratamiento con las tres repeticiones, considerando una profundidad de 0 a 20 cm, donde se midió el pH en la pasta, conductividad eléctrica, sales solubles en el extracto de saturación y hierro y zinc extractables en DTPA (Lindsay y Norvell, 1978).

Fase-Campo

La investigación de campo se realizó durante tres años consecutivos en el mismo sitio en donde se habían tomado las muestras para la fase-invernadero y en las mismas unidades experimentales. En el ciclo de invierno se sembró trigo cv. Salamanca S-73, con una densidad de 180 kg ha^{-1} , el cual se fertilizó con 200 y 80 kg ha^{-1} de N y P_2O_5 . En el ciclo de verano se sembró sorgo, híbrido Bravo-E, con una densidad de 12 kg ha^{-1} y la fertilización consistió en 120 y 60 kg ha^{-1} de N y P_2O_5 .

Las fuentes de nutrimentos empleados fueron sulfato de amonio y superfosfato triple en ambos cultivos.

Se estudiaron las dosis de 15 L ha^{-1} de AS, 20 kg ha^{-1} de SF, 5 kg ha^{-1} de ZnSO_4 (SZ) y 2 kg ha^{-1} de MnSO_4 (SM) que correspondieron a las definidas con base en la experiencia práctica y son aquellos que han dado los mejores resultados. Se aplicaron los tratamientos:

AS + SF con una FA; AS + SF con dos FA; AS + SF con tres FA; AS con dos FA; SF con dos FA; AS + SF + SZ + SM con dos FA; AS + SF + SZ con dos FA; AS + SF + SM con dos FA; 0.5 t ha^{-1} de AS directo al suelo con una FA; 1.0 t ha^{-1} de AS directo al suelo con una FA y el testigo; dando un total de 11 tratamientos (Cuadro 4). Cada unidad experimental fue de 15 m de ancho y 40 m de largo (tamaño comercial), dentro de cada unidad se marcaron cinco subparcelas de 15 m de ancho y 8 m de largo para la toma de observaciones. Con base en la pendiente del terreno las unidades se realizaron en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, en base al tamaño de las parcelas.

Cuadro 4. Relación de tratamientos correspondientes a la fase de campo.

Tratamiento	H_2SO_4 L ha^{-1}	FeSO_4	ZnSO_4	MnSO_4	FA
		----- kg ha^{-1} -----			
1	0	0	0	0	0
2	15	20	0	0	1
3	15	20	0	0	2
4	15	20	0	0	3
5	0	20	0	0	2
6	15	0	0	0	2
7	15	20	5	2	2
8	15	20	0	2	2
9	15	20	5	0	2
10	500†	0	0	0	1
11	1000†	0	0	0	1

† Aplicación directa al suelo.

Para su aplicación el ácido y las sales se agregaron a un tambor (plástico) de 200 L con agua, dicho volumen mezclado se aplicó en cada unidad experimental a través del agua de riego, previa calibración del goteo considerando los tiempos de riego. El tratamiento se aplicó según correspondió a su FA, el de una FA únicamente se aplicó en el primer riego de auxilio; el de dos FA en el primer y segundo riego de auxilio y el de tres FA, se aplicó en el primer, segundo y tercer riego de auxilio. La aplicación directa de AS al suelo (con regadera manual) y su incorporación (con rastra) se realizó antes de la siembra de cada cultivo.

En el tercer año, los tratamientos en trigo se aplicaron normal, dándose los seis riegos de auxilio normales y uno solo en sorgo por las lluvias que se presentaron, aplicándose una sola vez los tratamientos. La homogeneidad edáfica del sitio fue previamente comprobada con dos cultivos comerciales (avena y maíz).

Se realizaron muestreos de suelo al inicio de cada ciclo y al final después de la cosecha. Se tomaron de 0 a 20 cm de profundidad en cada subparcela, el sitio de muestreo se marcó como referencia para los siguientes muestreos. Se formó una muestra compuesta por cada unidad experimental. Esta se analizó para pH, conductividad eléctrica, sales solubles y Fe, Zn y Mn extractables por DTPA (Lindsay y Norvell, 1978). Estos últimos cuantificados por absorción atómica.

Se realizó un muestreo foliar en ambos cultivos en la etapa de floración; se tomaron las dos hojas superiores al momento de aparición de la espiga o panoja. La muestra se analizó para determinar las

cantidades de Fe, Zn y Mn por digestión húmeda (Piper, 1994) los que fueron cuantificados por absorción atómica.

Los datos colectados fueron sometidos al análisis estadístico correspondiente al diseño usado y las medias fueron comparadas por Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fase-Invernadero

La aplicación de sulfato ferroso (SF) fue el único factor simple que afectó significativamente la producción de materia seca (MS) y su respuesta fue influenciada por los factores AS y FA (Figura 1). El paralelismo en el comportamiento de los niveles de SF, promedio de las FA (Figura 1f) confirma la ausencia de significancia de las interacciones de primer orden (Winer, 1971).

Aunque cuando el SF aplicado solo y en cualquier FA aumentó significativamente la producción de MS en relación al testigo, la adición de AS superó estos tratamientos, debido a la reducción temporal y disponibilidad del hierro hacia el cultivo, principalmente al nivel de 15 L ha⁻¹ de AS y 20 kg ha⁻¹ de SF en la FA1 (Figura 1a); dicho efecto del AS fue similar al obtenido por Nefae (1978) y Ryan *et al.* (1974). En la misma FA1, 30 L ha⁻¹ de AS y 10 kg ha⁻¹ de SF, la producción de MS no tuvo un incremento tan importante y con 20 kg ha⁻¹ de SF por el contrario se redujo; un efecto muy similar se detectó al aumentar las FA y por consecuencias las cantidades de AS y SF aplicadas (Figura 1b, c, d, y e). Tal efecto seguramente se debió a que al aumentar la cantidad de AS aplicada

se incrementó consecuentemente la liberación de sales (Cuadro 5), lo que afectó la disponibilidad de los elementos (Essington y O'Connor, 1988) y quizás solubilizó en exceso otros elementos (P, Zn, Mn, Ca) provocando efectos antagónicos (Mengel y Kirkby, 1987).

La cuantificación empírica de los grados de clorosis (Cuadro 6) correspondió a los efectos observados con la producción de MS en los niveles de AS y SF en la primera FA (Figura 1a). Las plantas sujetas a estos tratamientos mostraron el menor grado de clorosis y fue más evidente con la adición de AS.

El buen desarrollo y producción de MS del sorgo en los tratamientos con SF en la FA1 fue seguramente porque el cultivo tuvo una disponibilidad del ion Fe²⁺, en lo cual influyó la reacción ácida (pH 3.5 a 4.5 sol. sat.) de la sal del SF; el poco volumen de suelo explorado por las raíces del cultivo (mayor volumen radical de 4 a 6 cm) al momento de aplicar la FA1 (10 días) de germinado y a la alta concentración (actividad) del elemento.

Lo que permitió que el hierro no se oxidara totalmente cuando se aplicó sin ácido (Figura 1a). Esta respuesta del sorgo fue más clara en cero L ha⁻¹ AS y 20 kg ha⁻¹ de SF de la FA5 (Figura 1e). En las demás FA al nivel de cero L ha⁻¹ AS, aun cuando las cantidades de SF fueron incrementándose, la profundidad del suelo explorado por las raíces fue siendo mayor y por ende el tiempo de contacto del ion Fe²⁺ con el suelo, lo cual probablemente provocó su oxidación a forma Fe³⁺, reduciendo la disponibilidad al cultivo; lo cual concuerda con las concentraciones extraídas de Fe-DTPA (Cuadro 7), ya que en ningún caso al final del estudio se detectó en el suelo una

Cuadro 5. Conductividad eléctrica (CE) y pH de muestras de suelo compuestas (0 a 20 cm) provenientes de macetas tratadas con ácido sulfúrico (AS) y sulfato ferroso (SF).

Tratamientos		Frecuencia de aplicación									
AS	SF	1		2		3		4		5	
L ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	CE	pH†	CE	pH	CE	pH	CE	pH	CE	pH
		dS m ⁻¹		dS m ⁻¹		dS m ⁻¹		dS m ⁻¹		dS m ⁻¹	
0	0	2.6	7.8	3.4	7.9	4.1	7.8	7.8	7.9	4.3	7.7
0	10	6.8	7.5	9.0	7.7	8.8	7.5	7.0	7.9	7.0	7.9
0	20	6.2	7.7	7.0	7.9	8.8	7.9	7.4	7.8	6.0	7.9
15	0	7.8	7.9	7.4	7.5	7.8	7.1	9.8	7.0	7.0	7.7
15	10	8.6	7.8	6.0	7.7	7.4	7.9	7.2	7.2	7.8	7.8
15	20	7.4	7.7	6.2	7.8	8.8	7.9	6.6	7.8	6.2	7.6
30	0	6.8	7.8	6.6	7.7	7.2	7.8	7.0	7.4	6.8	7.7
30	10	7.0	7.9	5.4	8.0	7.4	7.6	7.8	7.6	7.2	7.6
30	20	4.0	7.7	8.6	7.8	8.0	7.9	5.8	7.9	7.4	7.6

† En la pasta de suelo saturada.

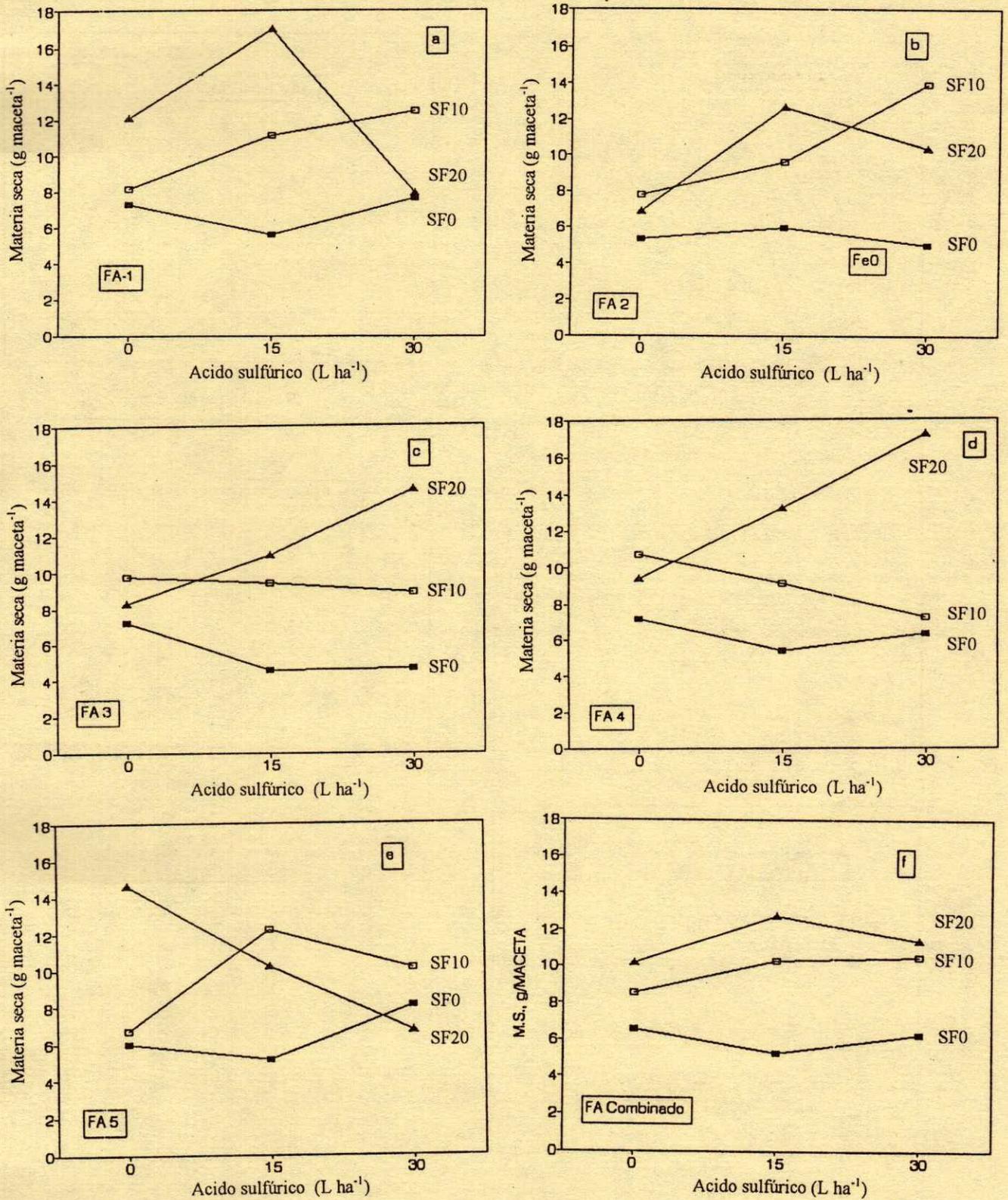


Figura 1. Respuesta del sorgo a la aplicación de tres niveles de ácido sulfúrico (AS) y tres niveles de sulfato ferroso (SF) en cinco frecuencias de aplicación (FA), en la producción media de materia seca (MS).

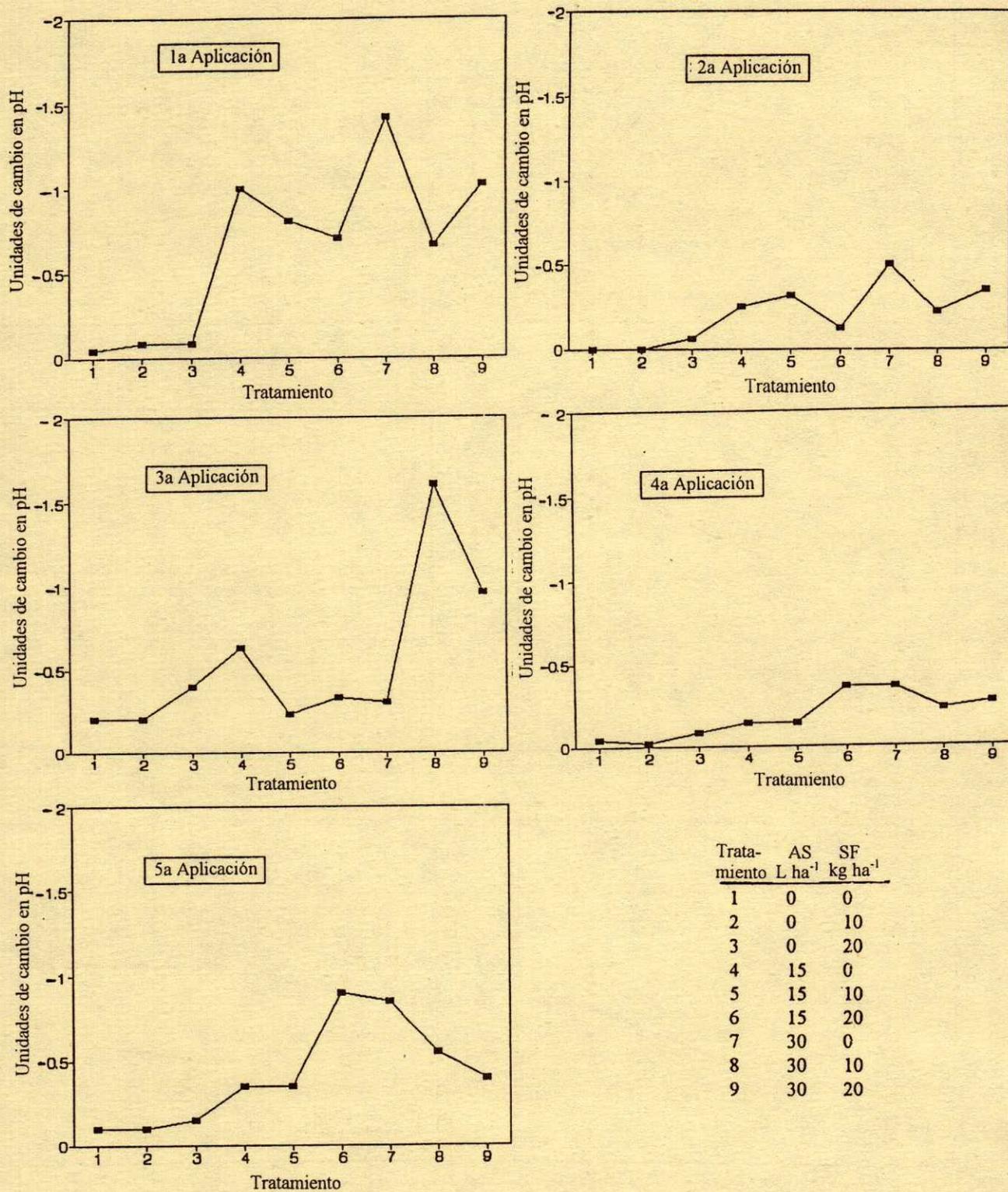


Figura 2. Diferencias promedio en unidades de cambio en pH, entre la lectura inicial al momento del riego y la final cuando el suelo alcanzó su capacidad amortiguadora.

Cuadro 6. Medias de la cuantificación empírica del grado de clorosis férrica en sorgo.

Tratamientos		Frecuencia de aplicación					Media	
AS†	SF‡	1	2	3	4	5	AS	SF
L ha ⁻¹	kg ha ⁻¹							
0	0	4	4	4	3	4	0=2.8a*	
0	10	3	3	3	3	3		
0	20	2	3	2	2	2		0=3.9a
15	0	3	4	4	5	4	15=2.6a	
15	10	2	3	3	3	3		10=2.6b
15	20	1	1	1	1	1		
30	0	3	4	4	4	4	30=2.7a	
30	10	2	2	3	3	2		
30	20	2	2	2	1	3		20=1.8c
Media	FA	2.5b	2.7b	2.7b	3.7a	3.0ab		

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

† AS = Acido sulfúrico industrial. ‡ SF = Sulfato ferroso pentahidratado.

concentración igual o mayor que el nivel crítico de 4.5 ppm (Lindsay y Norvell, 1978) con excepción del tratamiento antes indicado de la FA5.

Conforme se incrementaron las FA y los niveles de SF, se detectó una marcada tendencia del AS a aumentar el Fe-DTPA extraído (Cuadro 7). Sin embargo, en la FA1 cuyas concentraciones de Fe-DTPA fueron menores se obtuvieron las mejores producciones de MS, lo cual demuestra la bondad del AS sobre la solubilidad del SF al incrementar la disponibilidad al cultivo. Tal efecto fue más evidente con los cambios en pH detectados entre la lectura inicial al momento del riego y la final cuando el suelo logró su capacidad amortiguadora en un tiempo promedio de cuatro minutos (Figura 2) en donde el AS logró aumentar la acidez del suelo en al menos una unidad de pH, que de acuerdo con la solubilidad del hierro se incrementó en al menos mil veces (Panamperuma, citado por Lucas y Knezek, 1972), lo

cual fue comparado con las concentraciones de hierro encontradas en el tejido vegetal (Cuadro 8), en donde el AS fue el único efecto significativo que incrementó la disponibilidad del hierro al cultivo (Ryan *et al.*, 1974; McCaslin *et al.*, 1985).

Fase-Campo

Por extravío involuntario de una buena parte de la información de los primeros dos años, sólo se reportan los del tercero, debido a que reflejan el efecto acumulativo de los tratamientos por tres años consecutivos.

En general, los tratamientos tuvieron un comportamiento muy similar a los de la fase invernadero. Con la aplicación del AS mas SF, SZ, y SM, los rendimientos de trigo y sorgo fueron significativamente superiores al testigo (Cuadro 9), sin embargo, los tratamientos de 1, 2, y 3 FA con AS y SF (Tratamientos 2, 3, y 4)

Cuadro 7. Concentraciones de Fe-DTPA de muestras de suelo compuestas (0 a 20 cm) provenientes de macetas tratadas con ácido sulfúrico y sulfato ferroso.

Tratamientos		Frecuencia de aplicación					Media	
AS†	SF‡	1	2	3	4	5	AS	SF
L ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	ppm						
0	0	2.2	2.6	2.8	2.8	2.8	0=2.9	
0	10	2.2	2.8	3.0	3.2	3.4		
0	20	2.4	2.8	2.3	3.6	4.4		0=2.6
15	0	2.2	2.4	2.8	2.6	3.0	15=3.0	
15	10	2.4	2.6	3.2	3.4	3.0		
15	20	2.8	2.8	3.4	4.0	4.8		10=2.9
30	0	2.6	2.4	2.2	2.8	2.8	30=3.0	
30	10	2.6	2.8	2.8	3.2	3.4		
30	20	2.8	3.0	3.4	3.8	5.0		20=3.5
Media	FA	2.4	2.7	2.9	3.3	3.6		

† AS = Acido sulfúrico industrial. ‡ SF = Sulfato ferroso pentahidratado.

Cuadro 8. Concentraciones foliares medias de fierro en la producción total de materia seca de sorgo.

Tratamientos		Frecuencia de aplicación					Media	
AS†	SF‡	1	2	3	4	5	AS	SF
L ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	ppm						
0	0	815	553	1012	1348	513	0=1143b*	
0	10	1070	909	1772	1154	1110		
0	20	1150	846	1431	1493	1793		0=1073b
15	0	825	1271	935	1122	1487	10=1633a	
15	10	1516	1200	1606	1213	1301		15=1412ab
15	20	2152	2147	1690	2661	2048		
30	0	1418	808	807	1406	1693	30=1639a	
30	10	1395	2224	1639	1152	1761		
30	20	1699	2279	1551	1829	1578		30=1837a
Media	FA	1384a	1331a	1455a	1572a	1564a		

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

† AS = Acido sulfúrico industrial. ‡ SF = Sulfato ferroso pentahidratado.

resultaron estadísticamente iguales, y sólo cuando se aplicaron al sorgo fueron superiores a la aplicación única de AS y SF (Tratamientos 5 y 6). Estos resultados fueron muy similares a los obtenidos en la fase invernadero. La adición de SZ y SM incrementó ligeramente los rendimientos, lográndose el máximo cuando se aplicaron juntos (Tratamiento 7), pero la adición de SM tuvo una respuesta significativa sólo en el caso del sorgo (Tratamiento 7 y 7 vs 9) lo cual se podría atribuir a un efecto sinérgico entre los tres elementos unidos (Fe, Zn, y Mn) (Mengel and Kirkby, 1978). La cuantificación empírica de los grados de clorosis del sorgo con respecto al testigo (Tratamiento 1) se relacionó con el rendimiento del grano; con la aplicación de AS mas SF, SZ y/o SM, las plantas de sorgo mostraron una significativa menor incidencia de clorosis. Las cantidades de Fe, Zn y Mn-DPTA extraídas después de cada ciclo de cultivo (Cuadro 9) fueron muy similares a los del testigo y por abajo de los niveles críticos establecidos para el Fe (4.5 ppm) y zinc (1.0 ppm) por Lindsay and Norvell (1978), con excepción de los tratamientos en donde se aplicaron el zinc y el manganeso; pero con rendimientos tanto de trigo como de sorgo superiores al testigo, lo cual demuestra la bondad del AS aplicado en el riego en solubilizar y mantener la disponibilidad de los elementos a los cultivos principalmente Fe y Zn durante su desarrollo. Dicho efecto de aumento en la solubilidad se debió al efecto acidificante en la reacción del suelo (pH), el cual fue rápido por la alta capacidad amortiguadora del suelo; pero dicho efecto es más persistente en el aumento en la concentración de sales, que se refleja en los valores de CE (O'Connor y

Lee, 1978), los cuales fueron ligeramente superiores al testigo (Cuadro 9). Cabe indicar que los valores de CE fueron bajos debido a las frecuentes lluvias que se presentaron, principalmente durante el ciclo del sorgo, al cual sólo se le dio un riego de auxilio y, por lo tanto, los tratamientos tuvieron una sola FA; por otro lado, los rendimientos fueron bajos, debido a que por la lluvia el trigo se sembró tarde (20 de enero) y el sorgo fue un poco afectado por los daños de pájaros.

El resultado más impactante fue la aplicación directa al suelo del AS, tuvo un efecto significativo en la producción de trigo y sorgo únicamente cuando se aplicó la dosis de 1.0 t ha⁻¹ (1800 kg ha⁻¹); lo cual se debió a que los 0.5 t ha⁻¹ (900 kg ha⁻¹) no fueron suficientes para neutralizar el exceso de carbonatos y bicarbonatos de calcio del suelo (Cuadro 1); 17.5 %, no se logró con esta dosis el efecto solubilizador en los microelementos (Miyamoto *et al.*, 1975, Ryan y Stroehlein., 1979).

Lo cual demuestra la mayor efectividad de aplicar dosis bajas de AS, más el microelemento deficiente en el agua de riego, que además resulta más económico, mucho menor riesgo en su manejo y no tiene el efecto biodegradable del AS puro aplicado directo al suelo.

Estos resultados reafirman los obtenidos por Ryan *et al.*, 1974, 1975; Miyamoto *et al.*, 1975; Ryan y Stroehlein, 1979; Essington y O'Connor, 1980; Frank y Fehr, 1982; McCaslin *et al.*, 1985, en el sentido de que la aplicación de AS al suelo incrementa la solubilidad de los nutrimentos; pero son totalmente opuestos en cuanto a la cantidad y formas de aplicación, ya que dichos investigadores lo han realizado mediante aplicaciones directas al suelo, ya

Cuadro 9. Influencia del H₂SO₄ mas Fe, Zn y/o Mn en agua de riego y directo al suelo los rendimientos de trigo sorgo, y algunos parámetros de suelo, agua y cultivo.

No.	Tratamientos				Trigo		Sorgo		pH		Conductividad eléctrica		Grado de clorosis en sorgo		Fe-DTPA		Zn-DTPA		Mn-DTPA		
	AS	SF	SZ	SM	FA	DT	DS	DT	DS	DT	DS	DT	DS	DT	DS	DT	DS	DT	DS	DT	DS
L ha ⁻¹				t ha ⁻¹		dS m ⁻¹		ppm													
1	0	0	0	0	0	3.38c §	3.42c	7.70a	7.95a	0.70b	0.38b	3.1a	1.4a	2.5b	0.4b	0.6ab	4.1b	1.8b			
2	15	20	0	0	1	4.21ab	5.89ab	7.66a	7.89a	0.89b	0.41b	1.5c	1.8a	3.2ab	0.4b	1.2a	6.5a	2.0b			
3	15	20	0	0	2	4.35a	6.10a	7.61a	7.86a	1.11ab	0.52ab	1.6c	1.8a	3.6a	0.6ab	1.0a	5.8a	1.7b			
4	15	20	0	0	3	4.41a	6.41a	7.64a	7.86a	1.10ab	0.41c	1.9cb	1.8a	4.1a	0.3b	0.8ab	5.7a	1.8b			
5	0	20	0	0	2	4.10abc	5.35b	7.22a	7.93a	0.60bc	0.52ab	1.6c	0.7b	2.5b	0.6ab	0.6ab	1.6c	3.1ab			
6	15	0	0	0	2	4.14abc	5.25b	7.78a	7.94a	0.69bc	0.47b	1.4c	0.8b	3.5a	0.5b	0.8ab	1.3c	4.3a			
7	15	20	5	2	2	4.68a	6.66a	7.80a	7.90a	0.80b	0.41b	1.5c	1.8a	4.3a	1.2a	1.5a	4.4ab	1.96			
8	15	20	0	2	2	4.50a	6.10a	7.81a	7.84a	0.65bc	0.43b	1.5c	1.9a	4.0a	0.6ab	0.5a	5.1a	1.8b			
9	15	20	5	0	2	4.56a	5.03b	7.76a	7.92a	0.50c	0.42b	1.6c	1.1ba	2.8b	1.3a	1.4a	3.2bc	3.3ab			
10	500	0	0	0	1	3.54bc	3.74c	7.80a	7.94a	1.37a	0.77a	2.3b	1.2ba	2.9b	0.4b	0.7ab	4.8ab	3.2ab			
11	1000	0	0	0	1	4.42a	6.18a	7.70a	7.84a	1.37a	0.70a	1.46c	0.8b	5.5a	0.5b	0.6ab	1.5c	3.6a			

AS = Acido sulfurico. SF = Sulfato ferroso. SZ = Sulfato de zinc. SM = Sulfato de manganeso. FA = Frecuencia de aplicación.
 DT = Después de trigo. DS = Después de sorgo.
 § Medias con la misma letra son iguales estadísticamente (Duncan 5 %).

sea bajo condiciones de invernadero o de campo y en dosis de 2 a 6 t ha⁻¹, lo cual resulta más costoso, riesgoso y peligroso su manejo.

CONCLUSIONES

La aplicación de sulfato ferroso con ácido sulfúrico comercial, aforado en el agua de riego corrigen la clorosis férrica en sorgo.

La aplicación de 20 kg ha⁻¹ de sulfato ferroso con 15 L ha⁻¹ de ácido sulfúrico industrial aforado en el agua de riego con una frecuencia de aplicación, resultó el mejor tratamiento tanto a nivel invernadero como de campo, y se obtuvieron las mejores producciones de sorgo y trigo.

El ácido sulfúrico industrial, aforado en el agua de riego por sus efectos en el pH y conductividad eléctrica del suelo, provoca la liberación de sales y/o solubilización de nutrimentos.

La adición de zinc y/o manganeso sólo incrementó significativamente los rendimientos de sorgo.

La metodología de aplicar el ácido sulfúrico comercial en dosis bajas, solo y/o con Fe, Zn, o Mn en el agua de riego, puede ser usado en suelos calcáreos para corregir deficiencias, sin serios problemas en su manejo, resultando más económico y técnicamente más eficiente que las aplicaciones de 1000 t ha⁻¹ (1800 kg ha⁻¹) directas al suelo.

LITERATURA CITADA

- Allison, L.E. y C.D. Moodie. 1965. Carbonate. pp. 1387-1388. In: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. of Agron. Madison, Wisc.
- Amparano, C.F. 1973. Evaluación del comportamiento y la susceptibilidad a la clorosis férrica de 14 variedades de soya en suelos calcáreos bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Black, C.A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis publishers, Inc. 2000 Corporate Blvd., M.W. Boca Rafon Florida 33431.
- Brown, J.C. y R.S. Holmes. 1995. Iron. The limiting element in a chlorosis. Part. I. Availability and utilization of iron dependent upon nutrition and plant species. Plant Physiology 30: 451-457.
- Brown, J.C. y W.E. Jones. 1975. Phosphorus efficiency as related to iron inefficiency in sorghum. Agron. J. 67: 468-472.
- Brown, J.C., J.E. Ambler, R.L. Chaner y C.O. Foy. 1972. Differential response of plant phenotypes to micronutrients. pp: 389-418. In: J.J. Mortvedt *et al.* (ed.). Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. of Amer. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Clarkson, D.T. y J.B. Hamsom. 1980. The mineral nutrition of higher plants. Ann. Rev. of Plant Physiology 31: 239-298.
- Essington, M.E. y G.A. O'Connor. 1980. Soil and plant response to applications of phosphorus fertilizer and sulfuric acid. Agric. Exptal. Stat. Research report No. 417. New Mexico State University, Las Cruces, Nuevo México, USA.
- Frank, S.J. y W.R. Fehr. 1982. Band application of sulfuric acid or elemental sulphur for control of Fe-efficiency chlorosis of soybeans. Journal 75: 451-454.
- Galván, C.F. 1985. La deficiencia férrica en plantas. In: No. 5. Serie temas didácticos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- García, L.R. 1978. Amarillamiento de la soya por deficiencia de Fe y efecto de inundación del suelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- García, M.H.J. 1980. Evaluación de tolerancias y susceptibilidad del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) a la clorosis férrica y algunos mecanismos de adaptación. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Juárez, E.R., V. Lee y E. Villarreal. 1972. Determinación de la fertilización óptima económica en el cultivo del sorgo de grano bajo diferentes distancias entre surcos y entre plantas. pp. 429-442. In: Fertilización programa de suelos. Res. de Inv. Reg. Ciclos 1972-1977. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-CIANE-Delicias, México.
- Lee, R.V. y J.N. Lerma. 1991. Evaluación del ácido sulfúrico y elementos menores aplicados en el agua de riego para el control de clorosis en trigo-sorgo a través del tiempo. Cd. Delicias, Chih. Memorias XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hgo. México. p. 39.
- Lindsay, W.L. y W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Am. J. 42: 421-428.
- Longoria, G.G. 1973. Prevención de la clorosis férrica en suelos calcáreos mediante tratamientos de inundación. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Lucas, R.E. y B.D. Knezek. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. pp: 265-288. In: J.J. Mortvedt *et al.* (ed.). Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc of Am. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- McCaslin, B.D., A.J. Saldek, G.A. O'Connor y L.A. Sohluther. 1985. Application of spent sulfuric alkylation acid and sulfuric acid to two New Mexico soils. Agr. Exptal. Stat. Bull. 714. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, USA.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition. International Potash Institute. P.O. Box. Ch-3048 Worblaufen-Bern. Switzerland.
- Mikesell, M.E., G.M. Panlsen, R. Ellis y A.J. Casady. 1973. Iron utilization by efficient and inefficient sorghum lines. Agron. J. 65: 77-80.
- Miyamoto, S., J. Ryan y J.L. Stroehlein. 1975. Potential beneficial uses of sulfuric acid in south western agriculture. J. Environ. Qual. 4: 431-437.
- Nefae, R. 1978. Effects of sulfuric acid on iron availability in New Mexico soil. Thesis M.Sc. New Mexico State University, Las Cruces, N.M. 88001, USA.

- Niebur, W.A. y W.R. Fehr. 1981. Agronomic evaluation of soybean genotypes to iron chlorosis. *Crop Science* 21: 551-554.
- O'Connor, G.A. y R.V. Lee. 1978. Effects of sulfuric acid on soil permeability and irrigation water quality. *Agron. Exptal. Stat. Res. Report No. 361*. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, USA.
- Overstreet, R., J.C. Martin y H.M. King. 1951. Gypsum, sulfur and sulfuric acid for reclaiming and alkali soil of the fresno series. *Hilgardia* 21: 113-127.
- Patil, J.D. 1980. Effect of calcium carbonate and organic matter on the growth and concentration of iron and manganese in sorghum (*Sorghum bicolor*). *Plant Soil* 60: 295-300.
- Pippen, C.S. 1944. *Soil and plant analysis*. Interscience Publ., New York.
- Ryan, J. y J.L. Stroehlein. 1979. Sulfuric acid treatment of calcareous soils: Effects of phosphorus solubility, inorganic phosphorus forms and plant growth. *Soil Sci. J.* 43: 731-735.
- Ryan, J., S. Miyamoto y J.L. Stroehlein. 1974. Solubility of manganese, iron and zinc as affected by application of sulfuric acid to calcareous soils. *Plant Soil* 40: 421-427.
- Ryan, J.L., J.L. Stroehlein y S. Miyamoto. 1975. Sulfuric acid application to calcareous soils. Effects on growth and chlorophyll content of common bermuda grass in the greenhouse. *Agron. J.* 67: 633-637.
- Salisbury, F.B. y C. Ross. 1969. Mineral nutrition of plants. pp. 191-208. *In: Plant physiology*. Wadsworth Publishing Co. Inc.
- Terman, G.L. 1974. Amounts of nutrients supplied for crops grown in pot experiments. *Science and Plant Analysis* 5: 115-121.
- Uvalle, B.J. 1982. Fertilización foliar en soya (*Glycine max. L.*) para el control de la clorosis. *Agricultura Técnica en México*. Enero-junio 1985.
- Wallace, A. 1978. Influence of phosphorus on zinc, iron, manganese and copper uptake by plants. *Soil Sci.* 26: 336-341.
- Wallace, A., R.T. Muller y G.V. Alexander. 1974. Soil pH, excess lime and chelating agents on micronutrients in soybean and bushbeans. *Agron. J.* 66: 698-700.
- Wallace, A. y R.T. Muller. 1978. Complete neutralization of a portion of calcareous soil as a means of preventing iron chlorosis. *Agron. J.* 70: 888-891.
- Watanabe, F.S., W.L. Lindsay y S.R. Olsen. 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 562-565.
- Winer, B.J. 1971. *Statistical principles in experimental design*. 2nd ed. McGraw Hill Co. pp. 309-359.
- Yahia, T.A., S. Miyamoto y J.L. Stroehlein. 1975. Effect of surface applied sulfuric acid on water penetration into dry calcareous and sodic soil. *Soil Sci. Amer. Proc.* 39: 1201-1204.

NITROGEN MINERALIZATION AND DISTRIBUTION THROUGH THE ROOT ZONE IN TWO TILLAGE SYSTEMS UNDER FIELD CONDITIONS

Mineralización y Distribución del Nitrógeno a Través de la Zona Radicular en Dos Sistemas de Labranza Bajo Condiciones de Campo

E. Salazar Sosa¹, W.C. Lindemann², M. Cardenas E.², and N.B. Christensen²

SUMMARY

Stubble till (ST) and no till (NT) are common tillage systems used in the southern great plains. As farmers on this region convert from ST to NT, more information is needed on how soil nitrogen (N) transformations will change. The objectives of this research were to: a) compare ST and NT with respect to organic-N mineralization and b) compare ST and NT with respect to fertilizer-N distribution through the root zone. The experimental design was a randomized complete block, with a split-block arrangement replicated three times. Large plots consisted of tillage systems (ST and NT) and N-fertilizer (0 N and 56 kg N ha⁻¹) were the subplots. In addition, tillage systems ST and NT were compared with regard to ¹⁵N distribution, applied in microplots (10 atom% ¹⁵N) at the rate of 56 kg N ha⁻¹. The microplots were located in the middle of large fertilized subplots and were planted with wheat. Microplots were sampled from 0 to 300 cm depth to track the inorganic-N (NO₃-N + NO₂-N + NH₄-N) distribution. The N mineralization experiment was carried out without cropping in the fallow period from May to August of 1993, but the samplings were taken from subplots and the soil depths were 0 to 7.5, 7.5 to 15, and 15 to 30 cm, only. Samplings were done weekly to complete 12 sampling dates in total. The ¹⁵N concentrations at most soil sampling depths were higher in ST than in NT systems except at the 300 cm depth. Thus, a small portion of the ¹⁵N applied to wheat may eventually leach below the rooting zone. With respect to N mineralization experiment over the twelve weeks, inorganic-N averaged 28.3 and 17.4 mg kg⁻¹ for ST and NT, respectively.

Index words: Nitrogen, mineralization and distribution of nitrogen, no-tillage, stubble mulch till, organic and inorganic nitrogen.

RESUMEN

Los sistemas de labranza de Mulche (ST) y cero (NT) son comúnmente utilizados en las grandes planicies del sureste de los Estados Unidos. Los productores de esta región están tratando de cambiar su sistema de labranza de ST a NT, sin embargo, es necesaria más información sobre las transformaciones del nitrógeno (N). Los objetivos de este estudio fueron comparar la ST con NT con respecto a la mineralización del N-orgánico y con respecto a la distribución del N proveniente del fertilizante a través de la zona radicular. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las parcelas mayores fueron los sistemas de labranza (ST y NT) y las menores el fertilizante (0 y 56 kg N ha⁻¹). Adicionalmente, los dos sistemas de labranza fueron comparados con respecto a la distribución del ¹⁵N aplicado en microparcelas, localizadas en la parte central de las parcelas menores y en las cuales se sembró trigo. Se hicieron muestras en las microparcelas de 0 a 300 cm (de 30 en 30 cm c/u) de profundidad para observar la distribución del N-inorgánico. Con respecto al experimento de mineralización éste se llevo a cabo sin plantar un cultivo entre mayo y agosto de 1993. En las subparcelas de este experimento se realizaron muestreos semanalmente a las profundidades de 0 a 7.5, 7.5 a 15 y 15 a 30 cm. La concentración del ¹⁵N en todas las profundidades muestreadas fue mayor en ST que en NT, excepto a los 300 cm y como el ¹⁵N determinado fue mayor en ambos sistemas de labranza que el encontrado en forma natural. Se concluye que parte del N fertilizado se lixivia fuera de la zona radicular. Con respecto al experimento de mineralización en promedio (12 semanas) la concentración de N-inorgánico fue de 28.3 y 17.4 mg kg⁻¹ para ST y NT, respectivamente.

Palabras clave: Nitrógeno, mineralización y distribución del nitrógeno, labranza cero, labranza de mulche y nitrógeno orgánico e inorgánico.

¹ DEP-FAZ-UJED y CIGA-ITA 10, Apartado Postal 1-142, 35000 Gómez Palacio, Dgo, México

² Agronomy and Horticulture Department of New Mexico State University, P.O. Box 30003, Las Cruces, NM, U.S.A.

INTRODUCTION

Mineralization under field conditions has been reported to be faster in conventional till and ST than in NT systems by many researchers (Meisinger *et al.*, 1985; Carter and Rennie, 1987; Locke and Hons, 1989). Conventional till breaks up plant material and mixes residues in the soil that accelerates microbial decomposition (Gil, 1990). Stubble mulch till cuts the soil at the depth of 15 cm, increasing aeration and leaving the residue in the soil surface, which increases mineralization (Salazar *et al.*, 1993).

Follet and Shimel (1989) indicated that respiration rates per unit of mineralized N was higher in clean till than in NT systems. Also, increasing tillage intensity decreased the ability of soil to immobilize and conserve mineral N. Adoption of NT over clean or conventional till systems probably would maintain the fertility status of top soil, because soil residue is accumulated and organic matter is maintained (Follett and Peterson, 1988).

Sheppers and Mielke (1983) found that mineralization occurring in the fall of 1978 and 1979 contributed 207 kg N ha⁻¹ to the total NO₃-N pool in the soil and 156 kg N ha⁻¹ during the following year. These authors determined that if this potential for mineralization of N is not considered in N fertilization practices, excess nitrate can easily accumulate in the soil profile and may later leach into ground water. In general, the soils used in the experiments mentioned in this study were of a fine texture classification similar to those found in Clovis, New Mexico.

Eck and Jones (1992) determined that NO₃-N moved deeper into the soil profile in NT than in ST tillage systems. Differences in the root zone may have resulted from differential leaching rather than from differential nitrification. Nevertheless, yields under NT and ST systems were similar. Nitrate is known to leach from crop production systems in humid areas where large amounts of N fertilizer are applied (Gormly and Spalding, 1979) and from High Plains dry land crop production systems where less N fertilizer is used. Tillage can have a significant effect on potential NO₃ accumulation in the profile. Conventional till increases the rate of organic-N and organic-C loss in surface soil (Lucas *et al.*, 1977; Blevins *et al.*, 1983; Follet and Shimel, 1989) while NT systems increase soil organic-N and organic-C accumulation (Standley *et al.*, 1988; Carter and Rennie, 1982). Power *et al.* (1986), in a wheat-fallow rotation, determined that more N was retained in the surface soil with NT than with plowing tillage systems. Thus,

N retained under NT systems may be used either by the subsequent crop or may potentially leach during a fallow period (Helling, 1987). This N leaching is attributed to the water storage and movement through the soil profile as result of continuous macropores developed by dead plant roots or shrinkage cracks formed when the soil is dry (Van Doren and Triplet, 1969).

Soil physical properties may affect N transformations and hence the N cycle. High or low soil temperatures and low moisture contents through the soil profile retard mineralization in NT systems as a result of decreased microbial activity (Campbell and Brederbeck, 1982; Groya and Shaeffer, 1985). Leaching of NO₃ through continuous channels was higher in NT than in ST systems (Groya and Shaeffer, 1985). Nevertheless, the accumulation of NO₃ below 22 cm is attributed to the effect of mineralized N in ST and clean till systems (Sarrantonio and Scott, 1987). Two physical factors that are related to microbial activity, and to the C/N ratio in soil surfaces, are the percentage of soil pores filled with water (%WFP) and total porosity. Nitrous oxide concentrations were greater under NT than in clean till systems because %WFP at the soil surface (0 to 7.5 cm) in NT soil was 62 % and 44 %, respectively, in four locations in the United States. Under laboratory conditions in NT surface soil, CO₂ is 3.4 times greater and N₂O is 9.4 times greater than in clean till (Linn and Doran, 1984).

Nitrification, microbial respiration and mineralization are increased when water content is high, but soil aeration is not limited (Rice and Smith, 1983). Kwikman *et al.* (1991), under conditions of modest fluctuation of soil moisture, found that low microbial activity resulted in higher plant ¹⁵N uptake than in soil kept continuously moist. Nevertheless, when fluctuation in soil moisture content was more intense and the irrigation rate was more frequent, microbial activity stimulated the mineralization of organic-N. Therefore, soil physical parameters strongly affect the N cycle (Phillips, 1980; Doran and Power, 1983).

MATERIALS AND METHODS

Nitrogen distribution and mineralization experiments were performed under field conditions, in a long-term nitrogen-tillage system experiment described next.

Nitrogen-Tillage Systems Experiment

A long-term tillage systems experiment was started in 1987. This experiment was located at the New Mexico

State University Agricultural Science Center near Clovis, New Mexico. The Clovis area is located on the western edge of the southern Great Plains dry land farming region and averages 42 cm yr⁻¹ of precipitation. The experiment consisted of a sorghum-sorghum-fallow-wheat-fallow dry land rotation system. Treatments were arranged in a split-plot structure, using a randomized complete block as the experimental design with three replicates. Large plots consisted of tillage systems (ST and NT) and subplots were N-fertilizer (0 N-fertilizer and a banded N rate of 56 kg N ha⁻¹). This experiment was used as the base to perform field experiments described later and the soil is a Pullman sandy clay loam (fine, mixed thermic, Toerrertic paleustol) containing 46.4 % sand, 23.6 % silt, and 30 % clay.

Nitrogen Distribution Under Field Conditions

To complement the long-term tillage system experiment, a N distribution study was started in the fall of 1990. Tillage systems (ST and NT) were compared with respect to ¹⁵N distribution in the N fertilized plots during the wheat-fallow-sorghum portion of the experiment (1991-1992). The study was conducted in microplots planted with wheat (TAM-105), but with ¹⁵N labeled urea fertilizer (10 atom% ¹⁵N) at the rate of 56 kg N ha⁻¹. ¹⁵N was necessary to differentiate fertilizer N from indigenous soil N. The ¹⁵N was purchased from Isotec Inc., Miamisburg, Ohio.

The microplots were located in the middle of the large fertilized subplots established in 1987. Each microplot was 1.02 m wide by 2.44 m long, for a total area of 2.48 m² and was subdivided into four equal parts. One part was sampled in the summer of 1991 and the remaining three parts were sampled in the spring, summer, and winter of 1992.

The soil sampling scheme in microplots permitted the following of inorganic-N (NO₃-N + NO₂-N + NH₄-N) distribution. Cores were taken to a depth of 3 m in the ¹⁵N microplots using a 5 cm diameter coring tube. The first two samples were taken at 0 to 15 and 15 to 30 cm depths, thereafter samples were taken at intervals of 30 cm. A total of 11 soil layers delineated ¹⁵N distribution through the deepest region of the rooting zone. The intact soil cores were subcored in the field to eliminate contamination by surface soil. The subcores were removed from the chrome-steel tube, air dried, placed in sterile plastic bags and stored at room temperature (approximately 25 °C) for later analyses (five days).

Soil water contents were determined by the gravimetric method each time a sample was collected. Inorganic-N was extracted with 2M KCl immediately after sampling (Kenney and Nelson, 1982) and determined on a Technicon Autoanalyzer (Technicon Instruments Corp., Tarrytown, New York). Part of the soil from ¹⁵N plots were ground, placed in glass bottles and were sent to the soil laboratory at the University of Nebraska for ¹⁵N determination. Soil ¹⁵N samples were analyzed using a Carlo Erba Analyzer-mass spectrometer (model 5234). When ¹⁵N occurred in a sample at a concentration above background, it was assumed that the N came from the N-fertilizer.

Statistical Analysis

Analysis of variance was used to test statistical significance of tillage systems (ST and NT) and inorganic-N distribution by depth using SAS GLM (SAS Institute, 1989). The LSD was calculated for mean separation when the F statistic was significant at the P<0.05 level.

Nitrogen Mineralization Experiment

Sorghum was planted in the summer of 1992. However, mineralization was difficult to quantify in the sorghum growing season because of fertilization, N-uptake, N leaching and decreased bacteria activity (Scheppers and Mielke, 1983). Thus, this experiment was carried out without cropping in the fallow period from May to August of 1993.

The factors studied here and the arrangements of the treatments were the same to those mentioned in the long-term experiment, but a new soil depth (15 to 30 cm) was sampled and added as a third level. Also, the number of levels of the sampling date were increased from 4 to 12 (weekly) because forms of N change rapidly with soil conditions. The soil physical variables that were determined include water content, and temperature. The soil water content was determined by the gravimetric method, and the soil temperature was determined with a thermometer (Blake and Hartage, 1986).

Soil water content was measured weekly, and soil temperature was measured daily. All subplots were subsampled twice for physical and chemical variables and the average value was considered for statistical analysis. The chemical and statistical analysis were similar to those carried out in the distribution experiment, but in this

experiment multiple regression was performed to determine the best combination of soil physical parameters that affect N mineralization. Stepwise procedure was used to select the best prediction model from multiple regression analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Nitrogen Distribution

Nitrogen distribution data were generated for four sampling dates: 1) after wheat harvest at the end of summer of 1991, 2) fallow period in March of 1992, 3) June of 1992, and 4) after sorghum harvest in the fall of 1992. Tillage systems statistically ($P < 0.05$) affected inorganic-N, $\text{NO}_3\text{-N}$, and the soil water content, but did not affect soil $\text{NH}_4\text{-N}$.

The distribution of both inorganic-N and atom% ^{15}N depended on tillage system (Table 1). Atom% ^{15}N distribution clearly indicates that ^{15}N moved through the soil profile and descended to the lower root zone in both ST and NT systems (Table 2). ^{15}N in the top (150 cm of soil) could have been from both inorganic-N and organic-N. However, below 150 cm depth the ^{15}N should have been only from inorganic-N because no roots were found. The concentration of inorganic-N in the soil profiles in date 1 was generally higher in ST than in NT to the 240 cm depth. However, at the 270 and 300 cm depths the inorganic-N levels were similar between ST and NT. Similar trends were found for the sampling dates 2, 3 and 4 (Table 1). Greater inorganic-N concentration in ST than in NT was attributable to higher N-mineralization and water movement in ST than in the NT system.

The ^{15}N concentration in both ST and NT were higher than the natural background of ^{15}N in soil at all depths. These results indicate that part of the ^{15}N in the lower soil depths came from the ^{15}N fertilizer applied to wheat. Similar trends were also found for sampling periods 2, 3, and 4 (Table 2). The concentrations of ^{15}N found at the 300 cm depth indicates that some N-fertilizer applied at planting could leach to the lower portions or even below the root zone. However, most of the N-fertilizer applied was absorbed by wheat or remained in the soil. Similar results were found by Eck and Jones in 1992 when they determined that nitrate moved deeper into the soil profile in NT than in ST tillage systems and Kitur *et al.* In 1984 reported that more N fertilizer applied to corn remained in the soil, and the recovery depended on N fertilizer applications rates and tillage systems.

Table 1. Interaction of tillage, sample depth, and sample date on soil inorganic-N in the N-distribution experiment.

Depth cm	Sample date	Tillage system	
		No-till	Stubble till
- - Inorganic-N mg kg ⁻¹ - -			
0 to 15	1	14.5 b*	20.5 a
	2	10.1 a	9.9 a
	3	6.8 a	8.8 a
	4	14.8 a	17.6 a
15 to 30	1	12.8 b	26.1 a
	2	9.7 a	12.0 a
	3	13.0 a	10.7 a
	4	18.1 a	16.6 a
30 to 60	1	14.2 a	15.2 a
	2	9.5 a	13.8 a
	3	10.9 a	12.2 a
	4	16.2 a	16.4 a
60 to 90	1	9.2 a	7.0 a
	2	8.9 a	15.6 a
	3	9.4 a	12.7 a
	4	15.5 a	16.6 a
90 to 120	1	7.9 a	10.5 a
	2	10.1 a	13.6 a
	3	6.8 b	17.8 a
	4	16.5 a	17.6 a
120 to 150	1	7.4 b	16.0 a
	2	14.6 b	19.6 a
	3	9.8 b	18.6 a
	4	16.3 b	26.6 a
150 to 180	1	6.8 b	15.9 a
	2	9.7 b	17.5 a
	3	11.3 b	17.3 a
	4	12.7 b	24.2 a
180 to 210	1	10.1 a	14.8 a
	2	11.3 a	14.6 a
	3	12.7 a	13.5 a
	4	19.4 b	26.6 a
210 to 240	1	13.6 a	14.4 a
	2	12.4 a	11.3 a
	3	12.1 a	11.2 a
	4	18.8 b	25.0 a
240 to 270	1	15.8 b	12.2 a
	2	13.6 a	11.0 a
	3	10.3 a	7.9 a
	4	20.1 a	21.6 a
270 to 300	1	17.9 b	15.4 a
	2	13.4 a	13.7 a
	3	10.8 a	10.0 a
	4	22.2 a	21.3 a
Average		12.68	15.70

LSD($p=0.05$) = 4.98. CV = 22.1%. 1 = after wheat harvest in 1991. 2 = fallow period, March of 1992. 3 = June of 1992. 4 = after sorghum harvest in 1992.

* Means within rows with no Latin letters in common are significantly different ($P < 0.05$).

Nitrate concentrations through out the soil profile also depended on tillage system. As in inorganic-N, statistical differences ($P < 0.05$) were found for the interaction till,

depth and sample date. The first two sample depths had 45 % and 51 % more $\text{NO}_3\text{-N}$ in ST than NT (Table 3). Because soil water content was similar in both tillage systems, this result is attributed to higher mineralization

Table 2. Interaction of tillage, sample depth, and sample date on soil ^{15}N in the N-distribution experiment.

Depth cm	Sample date	Tillage system	
		No-till	Stubble till
----- Atom% ^{15}N -----			
0 to 15	1	0.68 a*	0.55 b
	2	0.43 a	0.40 a
	3	0.70 a	0.48 b
	4	0.50 a	0.42 b
15 to 30	1	0.41 b	0.57 a
	2	0.38 a	0.38 a
	3	0.39 a	0.41 a
	4	0.39 a	0.39 a
30 to 60	1	0.39 a	0.38 a
	2	0.38 a	0.43 a
	3	0.38 a	0.35 a
	4	0.38 a	0.39 a
60 to 90	1	0.38 a	0.38 a
	2	0.39 a	0.40 a
	3	0.39 b	0.51 a
	4	0.42 a	0.38 a
90 to 120	1	0.38 a	0.37 a
	2	0.38 a	0.38 a
	3	0.38 b	0.45 a
	4	0.42 a	0.40 a
120 to 150	1	0.38 b	0.38 a
	2	0.38 b	0.39 a
	3	0.42 b	0.40 a
	4	0.41 b	0.39 a
150 to 180	1	0.38 b	0.41 a
	2	0.37 a	0.38 a
	3	0.40 a	0.38 a
	4	0.39 a	0.39 a
180 to 210	1	0.38 a	0.39 a
	2	0.39 a	0.39 a
	3	0.53 a	0.40 b
	4	0.44 a	0.38 b
210 to 240	1	0.38 a	0.38 a
	2	0.39 a	0.39 a
	3	0.40 b	0.45 a
	4	0.39 b	0.39 a
240 to 270	1	0.39 a	0.38 a
	2	0.42 a	0.39 a
	3	0.39 a	0.39 a
	4	0.42 a	0.41 a
270 to 300	1	0.39 a	0.41 a
	2	0.38 a	0.38 a
	3	0.38 a	0.41 a
	4	0.41 a	0.49 a
Average		0.413	0.408

LSD_($\alpha=0.05$) = 0.05. CV = 22.1%. 1 = after wheat harvest in 1991. 2 = fallow period, March of 1992. 3 = June of 1992. 4 = after sorghum harvest in 1992.
* Means within rows with no Latin letters in common are significantly different ($P < 0.05$).

in ST than in NT. For the second, third and fourth sample dates, tillage had no significant effect on $\text{NO}_3\text{-N}$ in the upper soil depths (0 to 120 cm). However, ST had more $\text{NO}_3\text{-N}$ than NT for the 120 to 180 cm depth. Below the

Table 3. Interaction of tillage, sample depth, and sample date on soil $\text{NO}_3\text{-N}$ in the N-distribution experiment.

Depth cm	Sample date	Tillage system	
		No-till	Stubble till
----- mg kg ⁻¹ -----			
0 to 15	1	7.6 b*	13.9 a
	2	3.6 a	2.3 b
	3	8.9 a	4.4 b
	4	1.4 a	1.9 b
15 to 30	1	6.3 b	13.0 a
	2	2.3 a	3.5 a
	3	5.6 a	4.7 a
	4	1.6 a	1.5 a
30 to 60	1	7.2 a	9.3 a
	2	2.4 a	6.6 a
	3	4.3 a	5.1 a
	4	1.3 a	1.4 a
60 to 90	1	2.9 a	1.7 a
	2	2.8 b	9.5 a
	3	4.3 b	7.0 a
	4	1.2 a	1.9 a
90 to 120	1	2.7 a	5.5 a
	2	3.8 a	7.9 a
	3	5.2 b	13.6 a
	4	1.9 a	2.9 a
120 to 150	1	2.2 b	11.0 a
	2	7.7 b	13.9 a
	3	5.1 b	12.8 a
	4	3.2 b	10.3 a
150 to 180	1	2.6 b	11.4 a
	2	3.2 b	11.1 a
	3	6.6 b	13.0 a
	4	3.9 b	11.8 a
180 to 210	1	5.4 a	9.9 a
	2	5.8 a	8.5 a
	3	7.6 a	9.0 b
	4	5.9 b	13.4 b
210 to 240	1	8.6 a	8.2 a
	2	6.8 a	5.3 a
	3	7.9 a	6.7 a
	4	5.5 b	10.8 a
240 to 270	1	10.6 a	6.0 a
	2	7.5 a	4.1 a
	3	6.5 a	4.1 a
	4	7.1 a	8.8 a
270 to 300	1	11.8 a	8.4 a
	2	7.4 a	3.6 a
	3	6.8 a	6.1 a
	4	7.8 a	4.6 a
Average		5.24	7.51

LSD_($\alpha=0.05$) = 5.2. CV = 22 %. 1 = after wheat harvest in 1991. 2 = fallow period, March of 1992. 3 = June of 1992. 4 = after sorghum harvest in 1992.
* Means within rows with no Latin letters in common are significantly different ($P < 0.05$).

Table 4. Effect of soil sample depth and sample date on soil NH₄-N in the N-distribution experiment.

Factor	Level	NH ₄ -N	LSD	CV
		mg kg ⁻¹	(P<0.05)	%
Depth (cm)	0-15	8.5 ab	1.02	22
	15-30	9.2 a		
	30-60	8.9 a		
	60-90	7.8 b		
	90-120	7.6 b		
	120-150	7.8 b		
	150-180	7.1 c		
	180-210	7.2 c		
	210-240	7.1 c		
	240-270	7.2 c		
270-300	7.0 c			
Sampling date			1.16	22
	1	5.6 bc		
	2	6.6 b		
	3	5.1 c		
	4	14.3 a		

1 = end of summer of 1991. 2 = March of 1992. 3 = June of 1992. 4 = end of fall of 1992.

* Means within columns and factor with no Latin letters in common are significantly different (P<0.05).

180 cm depth, tillage had no effect on the NO₃-N level.

Means for NH₄-N are shown in Table 4. The NH₄-N concentration varied (P<0.05) between sample depths and dates only. Mean NH₄-N concentration within the top 60 cm soil was 19 % higher than mean concentration in deeper soil layers. The variation in NH₄-N contents among depths is attributed to surface residue accumulation after wheat harvest. The fourth sampling date had 148 % more NH₄-N than the first three dates because soil samples for date 4 were taken after sorghum harvest. Temperatures after harvest were probably sufficient for some decomposition of organic-N, but too low for rapid nitrification.

The similarity of results between inorganic-N and NO₃-N clearly indicates that NO₃-N, as expected,

Table 5. Interaction of tillage and sampling date on soil water content in the N-movement experiment.

Tillage systems	Sampling periods			
	1	2	3	4
	----- m ³ m ⁻³ -----			
No-till	0.21aα*	0.16aαβ	0.18aσ	0.13aβ
Stubble till	0.17bα	0.15aα	0.16aα	0.12aσ

LSD_(P=0.05) = 0.038. CV = 32%

1 = fall 1992. 2 = spring 1992. 3 = summer 1992. 4 = end fall 1992.

* Mean between columns with no Latin letters in common and within rows with no Greek letters in common are significantly different (P<0.05).

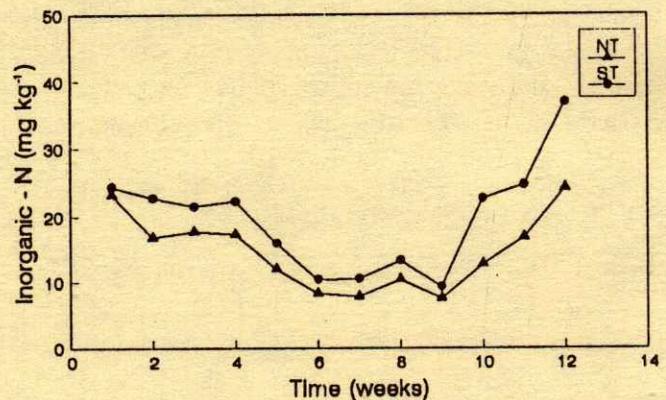


Fig. 1. Inorganic-N levels at the 0 to 7.5 cm depth in no-till (NT) and stubble till (ST) in field mineralization experiment.

contributed more than NH₄-N to total inorganic-N. This contribution of NO₃-N was strongly affected by tillage system and soil water content. When the soil water content decreased to less than 0.10 m³ m⁻³ during the year, NH₄-N tended to be higher than NO₃-N. Because NH₄-N is strongly held by soil colloids, NH₄-N is less likely to move than NO₃-N.

Tillage system statistically (P<0.05) affected soil water content only at the first sampling date. The soil water content at this date was 23 % higher in NT than the ST (Table 5). This result is explained by greater surface protection from evaporation in NT as compared to ST. Even though the residue from ST mostly remains on the surface, surface coverage is less than in NT because the residue is more dispersed than in the NT system. The lack of response between tillage systems in the other three sampling dates may be the result of low precipitation before each sampling date.

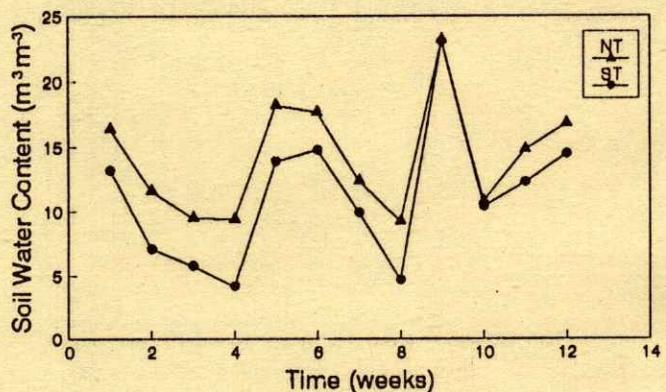


Fig. 2. Soil water content at the 0 to 7.5 cm depth in no-till (NT) and stubble till (ST) in field mineralization experiment.

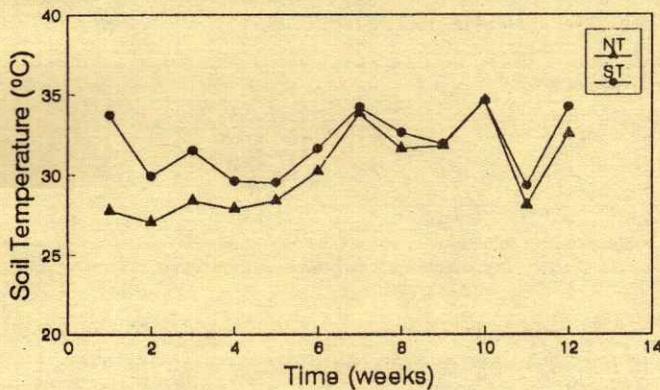


Fig. 3. Soil PM-temperature at the 0 to 7.5 cm depth in no-till (NT) and stubble till (ST) in field mineralization experiment.

Inorganic-N (principally $\text{NO}_3\text{-N}$) was generally higher in ST than in NT. This result is strongly supported by the distribution of ^{15}N through the soil profile (0 to 300 cm) in both tillage systems. The ^{15}N concentrations at most soil sampling depths were higher in ST than in NT systems except at the 300 cm depth. However, the ^{15}N concentration at 300 cm in both tillage systems was higher than the ^{15}N background level. Thus, a small portion of the ^{15}N applied to wheat may eventually leach below the rooting zone.

Field Mineralization

Inorganic-N levels generally declined after the start of the experiment and increased after week 9 (Fig. 1). This response was the result of low soil water contents early in

Table 6. Interaction of sample depth and sample time (weeks) on soil inorganic-N in field mineralization.

Week	Soil depth (cm)		
	0-7.5	7.5-15	15-30
	----- mg kg ⁻¹ -----		
1	30.9a*	20.3b	20.9b
2	21.9a	19.2a	18.4a
3	20.8a	19.5a	18.5a
4	21.8a	20.3a	17.2a
5	16.7a	13.6a	12.2a
6	10.8a	8.9a	8.2a
7	10.3a	8.1a	8.9a
8	12.8a	9.9a	9.9a
9	7.7a	8.7a	9.2a
10	17.8a	21.7a	13.5a
11	22.8a	22.4a	17.1a
12	31.8a	30.5a	29.5a

LSD_(0.05) = 9.1. CV = 31.3 %.

* Means within rows with no Latin letters in common are significantly different (P<0.05).

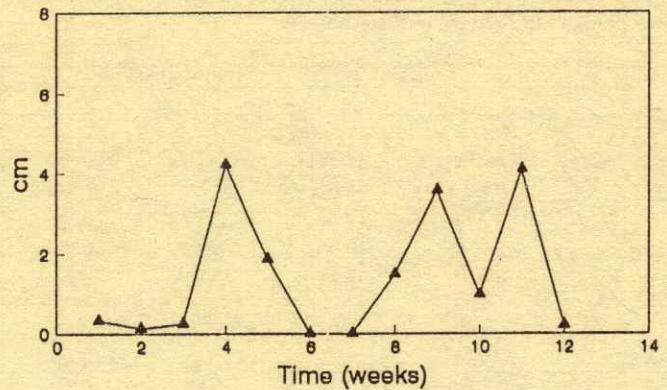


Fig. 4. Precipitation amount and distribution in field mineralization experiment.

the season followed by a sharp water content increase (Fig. 2) which also dropped soil temperatures (Fig. 3; Table 11). The soil water content and temperature variation is the result, in part, of precipitation during the twelve weeks of the experiment (Fig. 4).

Inorganic-N was consistently greater in the ST than in the NT (Fig. 1). However, this response was statistically significant only on the last three sampling dates and is confounded by interactions (Tables 6 to 9). Averaged over fertilization levels and time (12 weeks), inorganic-N at the 0 to 7.5 cm depth was 19.4 and 14.6 mg kg⁻¹ for ST and NT, respectively. Over the last three weeks, inorganic-N averaged 28.3 and 17.4 mg kg⁻¹ for ST and NT, respectively.

Nitrate contributed to more changes in inorganic-N than $\text{NH}_4\text{-N}$. In general, most differences between tillage systems occurred in week 1 and after week 9 when averaged among fertilizer and depth levels (Table 9). Factors that may have contributed to differences in N levels between ST and NT include differences in residue incorporation and mixing, soil water content, soil temperature, soil porosity, and soil bulk density, all of which affect N-mineralization. Soil temperature and water content were not significantly affected by tillage.

Table 7. Interaction of tillage system and sample depth on soil inorganic-N in field mineralization.

Tillage system	Soil depth (cm)		
	0-7.5	7.5-15	15-30
	----- mg kg ⁻¹ -----		
No-till	15.6bσ*	14.1aσ	13.7aσ
Stubble till	22.7aσ	19.6aσ	16.8aσ

LSD_(0.05) = 6.9. CV = 31.3 %.

* Means within columns with no Latin letters in common and within rows with no Greek letters in common are significantly different (P<0.05).

Table 8. Interaction of tillage system and N-fertilizer level on soil inorganic-N in field mineralization.

Week	No-till		Stubble till	
	56†	O	56†	O
	----- mg N kg ⁻¹ -----			
1	24.0b*	23.4b	28.9a	19.7b
2	17.2b	16.6b	24.9a	20.6ab
3	17.8a	17.6a	22.2a	20.7a
4	16.9a	17.8a	23.6a	20.9a
5	12.7a	11.2a	18.0a	13.8a
6	8.6a	7.9a	11.0a	9.9a
7	8.6a	7.0a	10.3a	10.6a
8	12.6a	8.1a	10.3a	12.4a
9	8.2a	7.0a	9.8a	8.8a
10	13.6bc	11.8c	25.8a	19.6ab
11	15.1b	18.6b	29.4a	19.9b
12	25.2b	23.3b	41.9a	32.0b

LSD_(0.05) = 6.98. CV = 31.3%. † = kg N ha⁻¹.

* Means within rows with no Latin letters in common are significantly different (P < 0.05).

However, the interactions of tillage systems, sample date, N-fertilizer and sample depth were often significant (Table 10). The interaction generally show that differences between NT and ST largely occurred when surface soil moisture contents were higher (week 1 and after week 9). Soil water contents tended to be lower and soil temperatures higher in ST than in NT. When soil water content increased, mineralization was also increased in both tillage systems; but mineralization was higher in ST than in NT. This result is attributed to greater microbial activity in ST than in the NT system as a result of residue incorporation and mixing.

The greater incorporation of residue and soil mixing in ST than in NT resulted in more mineralization principally at the soil surface (Christensen *et al.*,

Table 9. Interaction tillage system and sample time (weeks) on soil NO₃-N in field mineralization.

Week	No-till	Stubble till
	----- mg kg ⁻¹ -----	
1	7.0c*	13.1cd
2	2.9d	5.4d
3	3.2d	4.6de
4	4.4d	5.1d
5	5.9cd	6.0d
6	4.1d	5.4d
7	3.7d	6.2d
8	2.7d	5.0d
9	3.0d	4.3e
10	11.5cb	18.4c
11	15.3b	28.5ab
12	23.3a	31.1a

LSD_(0.05) = 8.4. C.V. = 42.5%.

* Means within rows with no Latin letters in common are significantly different (P < 0.05).

Table 10. Interaction of tillage system and soil sample depth on soil water content in field mineralization.

Tillage system	Soil depth (cm)		
	0-7.5	7.5-15	15-30
	----- m ³ m ⁻³ -----		
No-till	0.14aσ*	0.16aa	0.17aa
Stubble till	0.11bσ	0.17aa	0.18aa

LSD_(0.05) = 0.019. CV = 13.8%.

* Means within columns with no Latin letters in common and within rows with no Greek letters in common are significantly different (P < 0.05).

1994). When part of the residue is incorporated and mixed in the ST tillage system, N-mineralization increases and the ability of soil to immobilize and conserve mineral N decreases more in clean till than in NT. (Follet and Peterson, 1988; Follet and Shimel, 1989). The results clearly indicate that inorganic-N was higher in ST than in NT systems when soil and climate conditions were favorable for microbial activity. Physical parameters such as soil moisture and porosity are suppose to have a strong effect on mineralization. Because if soil water content

Table 11. Interaction of tillage system, soil sample depth and sample time (weeks) on PM-temperature in field mineralization experiment.

Week	Soil depth (cm)		
	0 to 7.5	7.5 to 15	15 to 30
	----- °C -----		
	No-till		
1	28 b*	24 de	24 d
2	27 b	24 c	23 d
3	28 b	24 cd	22 c
4	28 b	25 c	24 de
5	29 a	27 b	24 c
6	30 b	28 b	26 cd
7	34 a	31 b	29 cd
8	32 a	28 b	27 bc
9	32 a	28 b	28 b
10	35 a	30 b	26 c
11	28 a	26 b	24 c
12	33 b	27 c	25 e
	Stubble till		
1	34 a	26 c	21 e
2	30 a	24 cd	22 d
3	32 a	24 c	21 d
4	30 a	24 d	23 e
5	30 a	27 b	22 d
6	32 a	28 b	26 d
7	34 a	31 b	28 d
8	33 a	28 b	29 c
9	32 a	28 b	26 b
10	34 a	30 b	27 cd
11	29 a	26 b	25 b
12	34 a	28 c	25 de

LSD_(0.05) = 1.9. C.V. = 3.79%.

* Means within rows with no Latin letters in common are significantly different (P < 0.05).

increases mineralization was also increased in both tillage systems, but the mineralization amount was greater in ST than in NT as a result of better residue incorporation and mixing. Temperatures in both ST and NT were inside of the optimum range for high microbial activity (25 to 40 °C). Consequently, temperature effects on organic-N mineralization in both tillage systems were similar.

CONCLUSIONS

Conclusions are presented in the same order than the results and discussion section and are related principally to the comparison between tillage systems.

N-Distribution Experiment

1. Inorganic N and ¹⁵N-fertilizer moved through the soil profile in both tillage systems, but the amount of each one was higher in ST than in NT system.
2. The ¹⁵N distribution through the soil profile clearly indicated that some of the ¹⁵N fertilizer moved below the rooting zone.
3. The soil water content in NT was 23 % higher than that in the ST system only for the first sampling period.

Nitrogen Mineralization Experiment

1. Tillage system statistically affected the amount of inorganic-N mineralized, ST had a higher (24.6 mg kg⁻¹) inorganic-N concentration than NT systems (19.4 mg kg⁻¹)
2. Depth and N fertilizer presented statistical differences in inorganic-N, but The highest inorganic-N contents were found in the first 15 cm depth.
3. The main physical parameters involved in inorganic-N contents between tillage systems were soil water content and porosity. Even though the temperature varied with depth its effect in inorganic-N mineralized had similar effect in both tillage systems.

REFERENCES

- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. pp. 363-376. *In*: A. Klute (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
- Blevins, R.L., M.S. Smith, G.W. Thomas, and W.W. Frye. 1983. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Cons.* (special issue) 38: 301-305.
- Campbell, C.A. and V.O. Brederbeck. 1982. Changes in mineral N and numbers of bacteria and actinomycetes during two years under wheat-fallow in Southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 62: 111-124.
- Carter, M.R. and D.A. Rennie. 1982. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: Distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potential. *Can. J. Soil Sci.* 62: 587-597.
- Carter, M.R. and D.A. Rennie. 1987. Effects of tillage on deposition and utilization of ¹⁵N residual fertilizer. *Soil Till. Res.* 9: 33-43.
- Christensen, N.B., W.C. Lindemann, E. Salazar-Sosa, and L.R. Gil. 1994. Nitrogen and carbon dynamics in no-till and stubble mulch tillage systems. *Agron. J.* 86: 298-303.
- Doran, J.W. and J.F. Power. 1983. The effects of tillage on the nitrogen cycle in corn and wheat production. Spec. pub. No. 6588. Agricultural Experiment Station, Nebraska, USA. pp: 441-454.
- Eck, H.V. and O.R. Jones. 1992. Soil nitrogen status as affected by tillage, crops, and crop sequences. *Agron. J.* 84: 660-668.
- Follet, R.F. and G.A. Peterson. 1988. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 141-147.
- Follett, R.F. and D.S. Shimel. 1989. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1091-1096.
- Gil, L.R. 1990. Nitrogen and carbon dynamics in no-tillage and clean tillage sorghum production. Master's of Science thesis, Agronomy and Horticulture Department. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico. USA.
- Gormly, J.R. and R.F. Spalding. 1979. Sources of concentrations of nitrate-nitrogen in ground water of the Central Plate Region, Nebraska. *Source Ground Water J.* 17: 291-301.
- Groya, F.L. and C.C. Shaeffer. 1985. Nitrogen from forage legumes: Harvest and tillage effects. *Agron. J.* 77: 105-109.
- Helling, C.S. 1987. Effect of conservation tillage on pesticide dissipation. pp. 179-187. *In*: T.J. Logan, J.M. Davidson, J.L. Baker, and M.R. Overcash (eds). Effect of conservation tillage on groundwater quality: nitrates and pesticides. Lewis publishers Inc. Chelsea, MI.
- Kenney, D.R. and D.W. Nelson. 1982. Inorganic nitrogen. pp. 643-698. *In*: A.L. Page *et al.* (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Kwikman, P.J., A.G. Jensen, and J.A. Van Veen. 1991. ¹⁵N mineralization from bacteria by protozoan grazing at different soil moisture regimes. *Soil Biol. Biochem.* 23: 193-200.
- Kitur, B.K., M.S. Smith, R.L. Blevins, and W.W. Frye. 1984. Fate of ¹⁵N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage in corn. *Agron. J.* 76: 240-242.
- Linn, D.M. and J.W. Doran. 1984. Aerobic and anaerobic microbes populations in no-tillage and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 794-799.
- Locke, M.A. and F.M. Hons. 1989. Effect of tillage method and fertilizer placement on recovery of labeled fertilizer nitrogen. *Soil Sci.* 147: 215-222.
- Lucas, R.E., J.B. Hoffman and L.J. Connor. 1977. Soil carbon dynamics and cropping practices. pp. 333-354. *In*: W. Lockeretz (ed.). Agriculture and energy. Academic Press, N.Y.
- Meisinger, J.J., V.A. Bandel, G. Stanford, and J.O. Legg. 1985. Nitrogen utilization of corn under minimum tillage and moldboard plow tillage. *Soil Agron. J.* 77: 602-611.
- Phillips, R.E. 1980. No tillage agriculture. *Science* 208: 1108-1113.
- Power, J.F., W.W. Wilhelm, and J.W. Doran. 1986. Recovery of fertilizer nitrogen and by wheat as affected by fallow method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1499-1503.
- Rice, C.W. and M.S. Smith. 1983. Nitrification of fertilizer and mineralized ammonium in no-tillage and plowed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 1125-1129.

- Salazar, S.E., W.C. Lindemann, N. Christensen, and M. Cardenas. 1993. Recovery of ^{15}N by wheat and sorghum in no-till and stubble mulch tillage systems. Soil Sci. Am. Soc. Meeting, Cincinnati, Ohio. (Unpublished).
- Sarrantonio, M. and T.W. Scott. 1987. Tillage effect on availability of nitrogen to corn following a winter green manure crop. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1661-1668.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS user's guide. Statistics version. 4th ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Sheppers, J.S. and L.N. Mielke. 1983. Nitrogen fertilization, mineralization, and leaching under irrigation in the Midwest. Spec. pub. No. 6588. Agricultural Experiment Station Nebraska, USA. pp. 325-334.
- Standley, T.E., W.M. Edwards, C.L. Scott, and L.B. Owens. 1988. Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 998-1005.
- Van Doren, D.M. Jr. and G.B. Triplet, Jr. 1969. Mechanism of corn response to cropping practices without tillage. Research circular 169. Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster, Ohio.

COMPARISON OF NITROGEN MINERALIZATION AND DENITRIFICATION UNDER LABORATORY CONDITIONS BETWEEN TWO TILLAGE SYSTEMS

Comparación entre la Mineralización y la Denitrificación Potencial en dos Sistemas de Labranza bajo Condiciones de Laboratorio

E. Salazar Sosa¹, W.C. Lindemann², G. Smith², and M. Cardenas²

SUMMARY

Two laboratory experiments were conducted in 1993 to compare the effect of stubble mulch till (ST) and no till (NT) systems on nitrogen (N) mineralization and denitrification potential. Soil samples for the experiments were taken from a field tillage system experiment started in 1987. The factors evaluated in this experiment were tillage systems (ST and NT), N-fertilizer (with and without N-applications) and residue (with residue and without residue) after wheat harvest in 1992. Experimental design was a randomized complete block design, with a split block arrangement, with three replications. Soil samples for the N mineralization experiment were incubated aerobically according to the procedure by Stanford and Smith (1972) with modification described by Lindemann and Cardenas (1984). Soil samples for the N-denitrification experiment were collected from all subplots of the field experiment, but without residue application. The acetylene (C₂H₂) inhibition method was used to measure denitrification rates. Potential organic-N mineralized (No) was rapid at the beginning of the experiment in both tillage systems. Stubble till showed more inorganic N mineralized than NT system. The No calculated with both models was higher in ST than in NT systems, respectively, indicating that additional organic-N may be mineralized. In denitrification experiment the N₂O production consistently increased over time of incubation in both tillage systems. No-till had consistently more N₂O produced than ST system through all incubation times. Therefore, N-loss by denitrification is expected to be higher in NT than in ST even under field conditions.

Index words: Nitrogen, potential mineralization and denitrification, no-tillage, stubble mulch till, organic and inorganic nitrogen.

RESUMEN

Dos experimentos de laboratorio fueron llevados a cabo en 1993, para comparar el efecto de la labranza de mulche (ST) y la no labranza en la mineralización y denitrificación potencial del nitrógeno (N). Las muestras de suelo para los experimentos fueron traídas de un experimento de campo el cual inició en 1987. Los factores en estudio en este experimento fueron labranza (ST y NT), fertilización nitrogenada (con y sin aplicación del nitrógeno) y residuo (con y sin aplicación de residuos de cosecha), respectivamente. El diseño fue un bloque al azar con arreglo en franjas y con tres repeticiones. Las muestras de suelo para el experimento de mineralización potencial fueron encubadas según el procedimiento de Stanford y Smith (1972) con las modificaciones descritas por Lindemann y Cárdenas (1984). Las muestras de suelo para el experimento de denitrificación potencial fueron tomadas de todas las subparcelas del experimento de campo pero sin aplicación de residuo de cosecha. La denitrificación fue cuantificada utilizando el método del acetileno (C₂H₂). Los resultados indicaron que la mineralización potencial fue muy rápida al inicio del experimento en ambos sistemas de labranza, pero la labranza de mulche mostró más N-inorgánico mineralizado que la no labranza. La mineralización potencial ajustada con los dos modelos utilizados que en la labranza cero, respectivamente, esto indica que una parte adicional del N-orgánico puede ser mineralizada. En el experimento de denitrificación la producción de N₂O fue consistentemente incrementándose a través del tiempo de incubación en ambos sistemas de labranza. Sin embargo, la NT consistentemente presentó más N₂O producido que la ST en todo el periodo de incubación. Por lo tanto, la pérdida de nitrógeno por denitrificación es esperada que sea mayor en NT que en ST aún bajo condiciones de campo.

¹ DEP-FAZ-UJED y CIGA-ITA 10, Apartado Postal 1-142, 35000 Gómez Palacio, Dgo.

² Agronomy and Horticulture Department of New Mexico State University, P.O. Box 30003, Las Cruces, New Mexico. USA.

Aceptado: Marzo de 1998.

Palabras clave: Nitrógeno, mineralización y denitrificación potencial, labranza cero, labranza de mulche, nitrógeno orgánico e inorgánico.

INTRODUCTION

Stubble till (ST) and no-till (NT) are common tillage systems used in the southern Great Plains where wheat (*Triticum aestivum* L.) and sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] are grown in rotation with a fallow period. No-till farming is the practice of doing no more soil disturbance than opening a slit or narrow strip of soil, just enough to plant the seed. No-till management systems are being introduced into the Clovis area and are expected to be effective in reducing erosion and evaporation and in increasing organic carbon and organic nitrogen accumulation. The organic-N may be mineralized at a later date, and the inorganic-N released taken up by crops, leached, denitrified or immobilized. However, stubble till is the predominant tillage system in the Clovis area. This tillage-system consists of a blade plow that undercuts weeds, leaving approximately 85 % of the surface residues. The blade plow cuts 10 to 15 cm below the surface, and the number of blade plow operations during the fallow period depends upon precipitation and weed control requirements. As farmers on the southern Great Plains convert from ST to NT, more information is needed on how soil N mineralization and denitrification will change. This information will be helpful to better manage cropping systems and to reduce the environmental impact of agriculture (Salazar and Lindemann, 1994).

Inorganic nitrogen mineralized under laboratory conditions (optimum soil environmental conditions) represents the net nitrogen mineralized. Net mineralization values are then used to determine potential mineralizable nitrogen (N_0) (Stanford and Smith, 1972; Stanford *et al.*, 1974; Juma *et al.*, 1984; Bonde and Lindberg, 1988).

First order kinetics with either single or double exponents have been used to estimate N_0 (Lindemann and Cardenas, 1984; Deans *et al.*, 1986; Bonde and Lindberg, 1988; Lindemann *et al.*, 1988). Deans *et al.* (1986) compared both models (single and double exponential equations) using published and unpublished data to predict N_0 . They concluded that the double exponential equation gives the best fit to the data with MSE of $N_0/t = 4$ versus $MSE = 12$ for a single exponential equation.

Mineralization under field conditions has been reported to be faster in conventional tillage than in no till by many researchers (Meisinger *et al.*, 1985; Carter and

Rennie, 1987; Locke and Hons, 1989). Clean tillage breaks up plant material and mixes residues with the soil which accelerates microbial decomposition. Sheppers and Mielke (1983) found nitrogen mineralization occurring during the fall of 1978 and 1979 contributed 207 kg N ha⁻¹ to the total NO₃-N pool in the soil and 156 kg N ha⁻¹, respectively. According to this study, if this potential for mineralization of nitrogen is not considered in nitrogen fertilization practices, excess nitrate can easily accumulate in the soil profile and leach into ground water. Specific objectives of this study were to (1) Compare ST and NT with respect to organic-N mineralization under laboratory conditions, using soil samples from a tillage system experiment that started in 1987. (2) Compare ST and NT with respect to denitrification and enzyme activities under laboratory conditions.

MATERIALS AND METHODS

Experiments were conducted under laboratory conditions to determine mineralization and denitrification potential using soil samples from the subplots of the initial N-tillage system experiment that is described later.

Initial Nitrogen-Tillage Systems Experiment

A long-term nitrogen-tillage field experiment was established in the spring of 1987 at the New Mexico State University (NMSU) Agricultural Science Center near Clovis, New Mexico. The Clovis area is located on the western edge of the southern Great Plains dry land farming region and averages 42 cm year⁻¹ of precipitation. The soil is a Pullman sandy clay loam (fine, mixed thermic, Torrertic Paleustoll) containing 46.4 % sand, 23.6 % silt, and 30 % clay (Gil, 1990). Both dry land and irrigated cropping systems are used. The experiment consisted of a sorghum-sorghum-fallow-wheat-fallow dry land rotation system. Treatments were arranged in a split-plot structure, using a randomized complete block as the experimental design with three replicates. Whole plots consisted of tillage systems (ST and NT) and subplots were N-fertilizer (0 N-fertilizer and a banded N rate of 56 kg N ha⁻¹). This experiment was used as the base to perform the laboratory experiments described later. In the spring of 1990, ¹⁵N labeled urea fertilizer (10 atoms%) was applied in microplots at the rate of 56 kg N ha⁻¹. This ¹⁵N was necessary to differentiate fertilizer N from indigenous soil N. The microplots were located in the

indigenous soil N. The microplots were located in the middle of the large fertilizer subplots. Each microplot was 1.02 m wide by 2.44 m long, for a total area of 2.48 m².

Potential Mineralization Experiment under Laboratory Conditions

The mineralization experiment was conducted at the soil microbiology laboratory of the Agronomy and Horticulture Department of NMSU in the spring of 1993. Soil samples were collected (0 to 15 cm depth) from the 1.0 m by 1.0 m marked areas in the entire subplot and microplot of the field experiment. Samples were air dried, passed through a 2 mm sieve and stored in plastic bags at room temperature for several weeks before use and analysis. Factors evaluated in this experiment were a) tillage system (ST and NT), b) N-fertilizer (0 and 56 kg N ha⁻¹), and c) residue levels (with residue and without residue).

Soils were incubated aerobically according to the procedure by Stanford and Smith (1972) with modifications described by Lindemann and Cardenas (1984). Silica sand (20-40 mesh) was added to the soil at a ratio of 1:1 by weight to increase aeration. Soil was placed in 60 mL Buchner fritted glass funnels (pyrex No. 36060-medium) for leaching and incubation. Glass wool was placed between the fritted glass and soil and on the soil surface.

Funnels were covered with aluminum foil to slow evaporation and a small hole was placed in the foil to facilitate gas exchange. Moisture tension was brought to 0.02 MPa by overnight equilibration with a suction manifold apparatus. Funnels were incubated at 35 °C in a high humidity incubator and mineralized N (NH₄ + NO₃ + NO₂) was determined following 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, and 18 weeks of incubation. Funnels for each collection were leached with 100 mL of 0.01 M CaCl₂ followed by several smaller CaCl₂ rinses to obtain a total of 100 mL of leached extract. After extraction, soil moisture was brought to 0.02 MPa as before. Chemical analyses for inorganic-N was the same as in the field experiment and ¹⁵N concentration in the soil (at the start and at the end of this experiment) was determined to compare both ST and NT ¹⁵N losses.

Statistical Analysis

Nitrogen mineralization rate was determined using the following nonlinear models: The first model was as follows (Molina *et al.*, 1980):

$$NT = No S (1 - e^{-ht}) + No (1 - S) (1 - e^{-kt}) + e \quad (1)$$

Where NT = substrate concentration at time t, No = mineralization potential, t = weeks, S and (1-S) represent rapid and slow decomposable organic-N fractions with rate constant of h and K, respectively, and e is an error term with a zero mean and a fixed variance. The second model was as follows (Smith *et al.*, 1980):

$$NT = No (1 - e^{-kt}) + e \quad (2)$$

terms were defined in Equation 1.

Equations 1 and 2 assumed that N mineralization is a first order reaction described by:

$$dN/dt = -kN \quad (3)$$

where N = mineralizable N, dn and dt = differential of nitrogen and time, respectively, and all other terms are as defined in Equation 1.

Analysis of variance was used to test statistical significance between tillage levels as well as their interaction with fertilizer and residue levels.

Denitrification under Laboratory Conditions

The denitrification experiment was conducted at the microbiology laboratory of NMSU, Biology Department in the fall of 1993. The experiment compared tillage systems (ST and NT) and fertilizer levels (0 and 56 kg N ha⁻¹) with respect to N₂O produced. Soil samples were collected from all subplots at the end of the fallow period of the summer of 1993 and stored at 4 °C until laboratory analysis.

The acetylene (C₂H₂) inhibition method was used to measure denitrification rates. The validity of this method for measuring short-term denitrification rates was established by Smith *et al.* (1978). Soil to be assayed (17.5 g in 12.5 mL of sterile H₂O) was made into a slurry and incubated anaerobically in N₂ flushed flasks (125 mL) sealed with rubber stoppers. Acetylene was added (10 % V/V) to inhibit the reduction of N₂O to N₂. Substrate (NO₃-N, 10 mg g⁻¹) and C (glucose, 5.7 mg g⁻¹) was mixed in 12.5 mL of deionized water and added to the soil samples to make the slurry. Oxygen was removed by flushing and evacuating with N₂ four times. The first gas sample was obtained at 30 min after the C₂H₂ was added.

The concentration of N₂O was measured by using a gas chromatograph (GC) with an electron capture detector (ECD). Several samples were run before starting the

Table 1. Inorganic-N mineralized as affected by tillage system, N-fertilization and surface residue level under laboratory conditions.

Fertilizer levels	Surface residue levels	Initial leach	Time of incubation (weeks)										Cumulative nitrogen†
			0-1	1-2	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-18	
kg ha ⁻¹		mg NH ₄ + (NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻)-N kg ⁻¹											
Stubble till													
56	2838	13.5	9.5	6.3	4.8	6.0	7.8	6.9	4.3	3.8	4.6	5.9	60.44
56	0	13.4	13.2	6.2	5.4	6.0	7.4	5.9	4.1	4.4	4.5	5.5	62.56
0	2787	9.7	9.7	4.4	4.0	4.7	5.9	5.0	3.7	3.5	4.8	5.5	51.16
0	0	9.3	13.1	4.6	4.5	4.8	5.9	5.9	2.9	3.4	4.8	4.8	54.55
No-till													
56	2938	7.7	5.3	3.9	3.7	4.2	4.2	5.8	3.2	2.7	4.1	3.8	41.23
56	0	8.0	12.7	3.8	3.4	3.9	3.9	4.3	3.0	3.0	4.1	4.4	46.39
0	2850	11.0	6.6	4.4	4.0	4.6	5.0	5.4	4.0	3.6	4.6	4.3	46.54
0	0	11.1	13.5	5.0	4.0	4.6	5.0	5.2	3.4	3.3	4.8	5.5	54.27

† Without initial leach.

experiment in order to define the sampling time under dry land conditions. Time points at 0.5, 1, and 2 hours were used to indicate if existing enzymes activity remained among treatments. Smith and Tiedje (1978) indicated that by keeping the experiment at a short-term period to prevent synthesis of new enzymes, it is possible to determine denitrification directly related to field conditions. Standards were run (6.25, 25, and 125 ppm V/V) to calibrate the GC-ECD equipment.

Analysis of variance was performed to test statistical significance between tillage levels as well as their interaction with fertilizer levels as previously mentioned. In addition, linear regression was used between each time of incubation and N₂O production in both tillage systems.

RESULTS AND DISCUSSION

Laboratory Mineralization Experiment.

Data collected are summarized in Table 1. Inorganic-N levels were high in the first weeks and decreased with time in both tillage systems. Even when inorganic-N levels were not statistically significant, ST tended to be higher than NT throughout the duration of the experiment. Soils previously subjected to more disturbance (plowed or clean till) had more organic-N mineralized than those under NT systems (Follet and Shimel, 1989).

All samples were incubated under the same environmental conditions (moisture, temperature, and aeration). Thus, eliminating any physical differences imposed by tillage in the field.

Inorganic-N, NH₄-N and NO₃-N production in the ST system were 14.5 and 38.6 % higher than in NT system,

respectively, but only in the fertilized plots (Table 2). Nitrate contributed more than NH₄-N to the inorganic-N. Table 3 is a N balance of the experiment. Average total and net organic-N mineralized were higher in ST (11.8 and 8.5 %, respectively) than in NT systems (11.2 and 6.7 %, respectively) thus, ST resulted in greater available inorganic-N.

According to Lindemann and Cardenas (1984), total organic-N mineralization is the absolute amount of N-mineralized, and net organic-N mineralization is the amount of inorganic-N available to plants. Total organic-N mineralized overestimates the N available to plants because of N lost by leaching and denitrification and is considered unaccountable and unavailable (Doran and Power, 1983; Lindemann and Cardenas, 1984; Lindemann *et al.*, 1988). The nitrogen mineralization potential (No) and k (rate constant) values for the single exponential model are shown in Table 4. Table 5 shows the estimates for No, k (rate constant for the slowly decomposable organic-N fraction), h (rate constant for the rapidly

Table 2. Interaction of tillage systems and N-fertilization levels on NO₃-N, NH₄-N and inorganic-N in N-mineralization experiment under laboratory conditions.

Tillage system	NO ₃ -N		NH ₄ -N		Inorganic-N	
	Nitrogen fertilizer (kg ha ⁻¹)					
	0	56	0	56	0	56
	mg kg ⁻¹					
NT	4.2a*	5.5a	0.84a	0.83a	5.1a	4.4b
ST	4.5a	5.3b	0.77b	0.83a	5.2a	6.1a
LSD	1.3		0.062		1.4	
(0.05)	14.0		14.0		15.0	
CV (%)						

* Means within columns with no Latin letters in common are significantly different (P<0.05).

NT= No-till. ST= Stubble till.

Table 3. Organic-N mineralized by tillage systems under laboratory conditions.

Fertilizer levels	Residue levels	Start organic-N	End organic-N	Organic-N loss	Initial inorganic-N leached	0-18 weeks Inorganic-N leached	Unaccounted† N	Total organic-N ² mineralization	Net organic-N ³ mineralization	
kg ha ⁻¹		mg N kg ⁻¹ soil							%	
Stubble tillage										
56	2838	680	596	84	13.5	60.4	23.60	12.3	8.8	
56	0	654	591	63	13.4	61.6	0.40	9.6	9.5	
0	2787	651	569	82	9.7	51.2	30.90	12.6	7.9	
0	0	661	563	98	9.3	54.6	43.40	14.8	8.3	
No-tillage										
56	2939	645	588	57	7.7	41.2	15.80	8.8	6.4	
56	0	634	571	63	8.0	46.4	16.60	9.9	7.3	
0	2850	683	599	84	11.0	46.5	37.50	12.3	6.8	
0	0	676	582	94	11.0	54.3	39.70	13.9	8.0	

† N = nitrogen

1 = (Organic-N loss) - (Inorganic-NL)

$$2 = \frac{\text{Total organic-N Loss}}{\text{Initial organic-N}} \times 100$$

$$3 = \frac{\text{Inorganic-N leached}}{\text{Initial organic-N}} \times 100$$

decomposable organic-N fraction), and S (proportion of organic-N rapidly decomposed) for the double exponential model. Both single and double exponential models fit the data for both tillage systems (Figs. 1 and 2). However, the double exponential model resulted in higher No (23 % in ST and 30 % in NT, respectively) than the single exponential model.

The single exponential model underestimated inorganic-N values principally at the first three and last two weeks. The No values indicate that additional inorganic-N may be mineralized in both tillage systems, and both models predict a plateauing of the curves (Figs. 1 and 2). K values in the single exponential model were similar in both tillage systems (Tables 4 and 5), and were not affected by surface residue. In the double exponential model, the mean No was also higher in ST than in NT system, but the h was not affected by tillage system or surface residue. K values decreased with surface residue in both tillage systems. These results may be explained by more N immobilization and less mineralization in treatments with surface residue. As with the single exponential model, No values were higher than cumulative values indicating that more inorganic-N will be produced with time.

The ¹⁵N concentration in soil from the start to the end of the experiment was not statistically affected by tillage systems. However, ST lost more ¹⁵N than NT in both no-residue and surface residue. This result is attributed to

more initial microbial activity in ST than No-till systems at the start of the experiment. Previous field experiments had shown that ST had higher inorganic-N mineralized than NT systems. The main discussion of this experiment is that the organic-N mineralization was rapid at the start of the experiment in both tillage systems. Stubble till had more inorganic N mineralized than the NT system. The two exponential models produced a good fit to the data from both tillage systems, but the single exponential model underestimate the cumulative inorganic-N in the

Table 4. Nitrogen mineralization potential and rate constant estimated in stubble till and no-tillage systems using a single exponential model.

Fertilizer levels	Residue levels	No	k
kg N ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg N kg ⁻¹	week ⁻¹
Stubble till			
56	2838	65.28	0.13
56	0	63.46	0.16
0	2787	54.39	0.13
0	0	54.30	0.17
No-till			
56	2939	48.65	0.10
56	0	44.50	0.18
0	2850	50.03	0.10
0	0	52.82	0.17

No = Mineralized potential organic-N.

k = rate constant.

Table 5. Nitrogen mineralization potential and rate constants estimated in stubble till and no-tillage systems using a double exponential model.

Fertilizer kg N ha ⁻¹	Residue kg ha ⁻¹	No mg N kg ⁻¹	s week ⁻¹	h	k
Stubble till					
56	2838	81.64	0.81	0.06	0.37
56	0	75.07	0.86	0.09	1.05
0	2787	70.96	0.82	0.06	9E+15
0	0	63.95	0.98	0.10	1.65
No-till					
56	2939	50.92	0.82	0.09	7E+14
56	0	64.12	0.82	0.06	1.65
0	2850	64.15	0.92	0.07	0.62
0	0	75.99	0.83	0.06	1.26

No = nitrogen mineralization potential.
 s = proportion of organic-N rapidly decomposed.
 h = rate constant for the rapidly decomposable organic-N fraction.
 k = rate constant.

first three and last two weeks. The No calculated with both models was higher in ST than in NT systems, respectively, indicating that additional organic-N may be mineralized.

Denitrification under Laboratory Conditions

Denitrification production (N₂O) increased linearly with time for both NT and ST systems using the anaerobic slurry assay (Fig. 3). Smith and Tiedje (1978) found two linear phases of denitrification. Phase I was attributed to the activity of pre-existing denitrifying enzymes and lasts for 1 to 3 hours. Phase II lasts from 4 to 8 h (after phase I) and was attributed to significant growth of microorganisms and their activity. Thus, short incubations

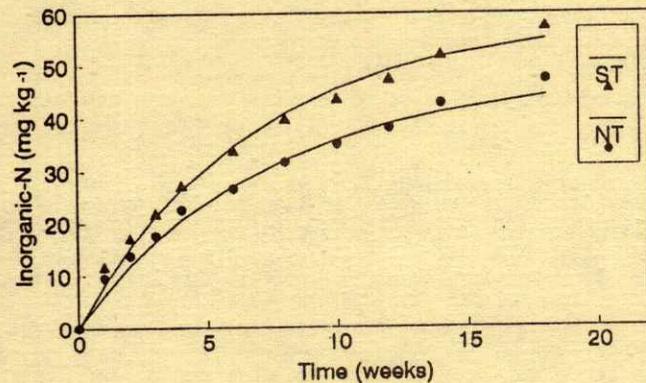


Fig. 1 Double exponential fit (lines) of experimental values (symbols) on the effect of no-till (NT) and stubble till (ST) on inorganic-N.

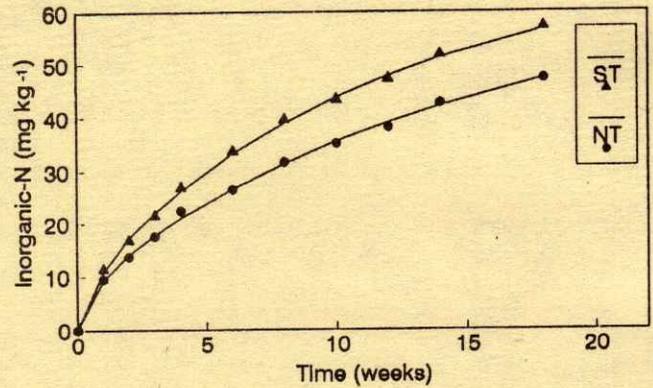


Fig. 2. Single exponential fit (lines) of experimental values (symbols) on the effect of no-till (NT) and stubble till (ST) on inorganic-N.

can be used to determine denitrification potential even if soil is removed from the field. These results corresponded to phase I as suggested from several preliminary experiments incubated for varying time periods. Phase I for the Clovis area lasted 3.3 hours.

The sum of squares from the analyses of variance, means for area (gas chromatography measurements), and calculations of N₂O produced at each sampling time are shown in Table 6. Averaged over time, N₂O-N rate for NT was higher (2.69 mg N₂O kg⁻¹ h⁻¹) than in ST (1.24 mg N₂O kg⁻¹ h⁻¹). No-till and ST were different (P<0.05) on the first two of the four sampling times (Table 6). Total N₂O produced in both tillage systems in 200 min was attributed to the indigenous enzyme activity because after this period the N₂O level increased rapidly in both tillage systems as a result of microbial growth. Christensen (1985) found similar results and concluded that the anaerobic slurry assay and the intact soil core procedures

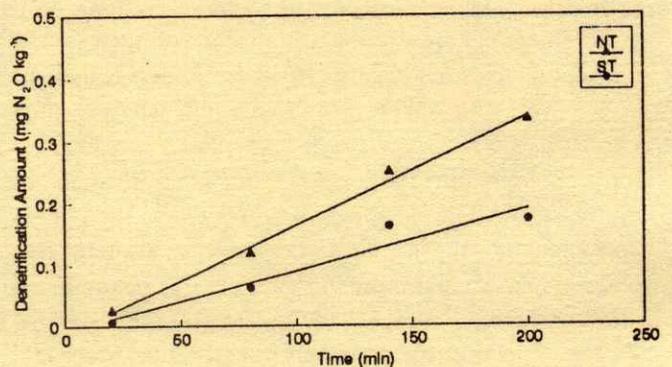


Fig. 3. Denitrification amount (N₂O) in stubble till (ST) and no-till (NT) under laboratory conditions.

Table 6. Effect of stubble till (ST) and no-till (NT) systems on denitrification (N₂O) under laboratory conditions.

Tillage systems	Time min	Area cm ²	Rate of		LSD _(0.05) cm ²	CV %
			N ₂ O mg kg ⁻¹	N ₂ O-N mg kg ⁻¹ h ⁻¹		
No-till	20	466.7 ^a	0.91	2.73	222.9	46
Stubble-till	20	99.2 ^b	0.20	0.61		
No-till	80	1655.8 ^a	3.28	2.46	744.7	38
Stubble-till	80	891.3 ^b	1.77	1.32		
No-till	140	3408.7	6.76	2.88	NS	42
Stubble-till	140	2198.3	3.99	1.68		
No-till	200	4544.8	9.02	2.70	NS	36
Stubble-till	200	2405.5	4.78	1.38		

NS= No significant (P<0.05).

are consistent in indicating increased denitrification under NT system. R-square for time *versus* N₂O produced in NT was 0.99 and in ST was 0.97, respectively. These results indicate that the N₂O produced over time is explained in 99 % and 97 % by tillage systems, respectively.

Acetylene production consistently increased over time of incubation in both tillage systems. No-till had consistently more N₂O produced than ST system through all incubation times. Also, the N₂O-N rate was higher in NT than in ST. Therefore, N-loss by denitrification is expected to be higher in NT than in ST even under field conditions.

CONCLUSIONS

1. The nitrogen mineralization potential (No) was higher in stubble tillage than in no tillage, but no statistical differences were found between NT no fertilizer and ST with fertilizer.
2. The best model that fits the nitrogen mineralization potential was the single exponential model.
3. Total (%) organic nitrogen was higher than net (%) organic nitrogen mineralized. This result indicates that total (%) organic nitrogen mineralized overestimates the nitrogen available to plant.
4. The denitrification rate was higher in NT (0.0033 mg N₂O kg⁻¹ h⁻¹) than in ST (0.0017 mg N₂O kg⁻¹ h⁻¹).

REFERENCES

- Bonde, A.T. and T. Lindberg. 1988. Nitrogen mineralization kinetics in soil during long-term aerobic laboratory incubations: A case study. *J. Environ. Qual.* 17: 414-417.
- Carter, M.R. and D.A. Rennie. 1987. Effects of tillage on deposition and utilization of ¹⁵N residual fertilizer. *Soil Till. Res.* 9: 33-43.
- Christensen, S. 1985. Denitrification in acid soils: Effects of slurry and potassium nitrate on the evolution of nitrous oxide and no nitrate-reducing bacteria. *Soil Biol. Biochem.* 17: 757-764.
- Deans, J.R., J.A.E. Molina, and C.E. Clapp. 1986. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 323-326.
- Doran, J.W. and J.F. Power. 1983. The effects of tillage on the nitrogen cycle in corn and wheat production. spec. pub. No. 6588. Agricultural experiment station, Nebraska USA. pp: 441-454.
- Follett, R.F. and D.S. Shimel. 1989. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1091-1096.
- Gil, L.R. 1990. Nitrogen and carbon dynamics in no-tillage and clean tillage sorghum production. Master of Science Thesis. Agronomy and Horticulture Department. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico. USA.
- Juma, N.G., E.A. Paul, and B. Mary. 1984. Kinetic analysis of net nitrogen mineralization in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 753-757.
- Lindemann, W.C. and M. Cardenas. 1984. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1072-1077.
- Lindemann, W.C., G. Connell, and N.S. Urquhart. 1988. Previous sludge addition effects on nitrogen mineralization in freshly amended soil. *Soil. Sci. Am. J.* 52: 109-112.
- Locke, M.A. and F.M. Hons. 1989. Effect of tillage method and fertilizer placement on recovery of labeled fertilizer nitrogen. *Soil Sci.* 147: 215-222.
- Meisinger, J.J., V.A. Bandel, G. Stanford, and J.O. Legg. 1985. Nitrogen utilization of corn under minimum tillage and moldboard plow tillage. *Soil Agron. J.* 77: 602-611.
- Molina, J.A.E., C.E. Clapp, and W.E. Larson. 1980. Potentially and mineralizable nitrogen in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 442-443.
- Sheppers, J.S. and L.N. Mielke. 1983. Nitrogen fertilization, mineralization, and leaching under irrigation in the Midwest. spec. pub. No. 6588. Agricultural Experiment Station Nebraska, USA. pp. 325-334.
- Salazar, S.E. and W.C. Lindemann. 1994. Comparison of stubble till and no-till systems on the nitrogen cycle in a wheat, sorghum, fallow rotation. Dissertation Published by the Agronomy and Agriculture Department of NMSU. Las Cruces, NM.
- Smith, J.L., R. R. Schnabel, B.L. Mc Neal, and G.S. Campbell. 1980. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 996-1000.
- Smith, M.S. and J.M. Tiedje. 1978. Phases of denitrification following oxygen depletion in soil. *Soil Biol. Biochem.* 11: 261-267.
- Smith, M.S., M.K. Firestone, and J.M. Tiedje. 1978. Acetylene inhibition method for short-term measurement of soil denitrification and its evaluation using ¹³N soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 612-615.

Stanford, G. and S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization - water relations of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 99-102.

Stanford, G., J.N. Carter, and S.J. Smith. 1974. Estimates of potentially mineralizable soil nitrogen on short term incubations. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 99-102.

CONSERVACION DE SUELOS Y DESARROLLO SUSTENTABLE, ¿UTOPIA O POSIBILIDAD EN MEXICO?

Soil Conservation and Sustainable Development, Utopia or Possibility in Mexico?

Antonio Becerra Moreno¹

RESUMEN

La fuerte presión ejercida por la creciente población humana sobre los recursos naturales en los últimos 200 años, está provocando la desertificación de millones de hectáreas en el mundo, lo que se manifiesta principalmente por la erosión del suelo. Para hacer frente a este deterioro, la mejor alternativa es utilizar tales recursos bajo el enfoque del desarrollo sustentable, el cual, además de la satisfacción de las necesidades humanas, implica la sustentabilidad ambiental; para lograr esta última, son básicas las estrategias y medidas de conservación de suelos. Sin embargo, en el caso de México existen serios problemas para aplicar estas técnicas y enfoques, porque además de la susceptibilidad ambiental al deterioro, hay severas limitantes sociales, económicas y políticas para eliminar las causas socio-económicas de la desertificación, entre ellas eliminar la pobreza, impulsar el desarrollo del sector rural y fortalecer una ética de la tierra. De que ello se logre o no, depende que el desarrollo sustentable sea una meta posible, o sólo una utopía.

Palabras clave: Desertificación, erosión, ética de la tierra.

SUMMARY

The high pressure of the growing human population on natural resources in the last 200 years, has caused the desertification of millions of hectares, as is manifested by soil erosion. To meet this deterioration, the best option is to use natural resources under the sustainable development approach, which includes both the satisfaction of the human needs and the environmental sustainability; to meet the latter, soil conservation strategies and practices are basic. Nevertheless, in Mexico, there are serious difficulties to apply these approaches and practices; in addition to the deterioration susceptibility, there are severe

social, economical and political limitations to eliminate the socioeconomical causes of desertification, how to take down poverty, impulse rural development and strengthen land ethics. If this is possible to achieve, sustainable development will be; if not, it will be a utopia.

Index words: Desertification, erosion, land ethic.

INTRODUCCION

Durante su desarrollo social, el hombre ha mantenido una constante interacción con la naturaleza, obteniendo con su trabajo los recursos que ésta le brinda para satisfacer sus necesidades de alimento, abrigo, y muchas otras; sin embargo, en los dos últimos siglos, por la explosión demográfica y los avances científicos y tecnológicos aplicados sin una conciencia conservacionista, entre otros factores, el hombre ha venido ejerciendo una creciente presión sobre la naturaleza, provocando el deterioro de amplias superficies de terreno. Ante esta situación, cada vez es más urgente que la utilización de los recursos naturales se dé en el marco del desarrollo sustentable, concepto que, además de sustentabilidad ambiental, involucra la satisfacción equitativa de las necesidades del hombre.

Pero las perspectivas de desarrollo sustentable son poco promisorias en países como México, debido, por un lado, a diversas condiciones naturales que predisponen al deterioro de la tierra y, por otro lado, a causa de factores políticos, económicos y culturales que inducen ese deterioro. Poco se puede hacer para modificar las condiciones naturales, por lo tanto, las acciones para tender a ese desarrollo deben enfocarse hacia las causas inducidas por el hombre, como: re-valorar la actividad agropecuaria y forestal, revertir la descapitalización del campo, combatir efectivamente la pobreza, impulsar la educación, y fortalecer una ética de la tierra. ¿Habrà la suficiente concientización y voluntad política para todo esto? De ello depende que el desarrollo sustentable sea algo posible de alcanzar, o una utopía.

¹Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, Estado de México.

Aceptado: Abril de 1998.

MAGNITUD Y CAUSAS DE DEGRADACION DE LOS RECURSOS NATURALES

El deterioro de la tierra o desertificación es el problema ecológico contemporáneo de mayor importancia en los países en desarrollo (Duarte, 1990). Este proceso ha sido definido como "la disminución o destrucción del potencial biológico de los recursos naturales ocasionado por el mal uso y manejo de los mismos, lo que trae como consecuencia procesos degenerativos del medio físico, económico y social de las poblaciones involucradas en su entorno" (Ortiz *et al.*, 1994). Sus principales procesos son la degradación de la cobertura vegetal, la erosión hídrica y la eólica, la acumulación excesiva de sales, la degradación física, la química y la biológica, siendo los dos primeros los más importantes.

De acuerdo con estimaciones hechas por la FAO, debido a la desertificación, cada año dejan de ser productivas de seis a siete millones de hectáreas en el mundo, y a este ritmo, en menos de 200 años el hombre habrá agotado todas las tierras productivas del planeta (Duarte, 1990). Pero el hombre parece no darse cuenta de que al destruir los recursos de la tierra, está destruyendo también la posibilidad misma de sobrevivencia de la humanidad.

La magnitud del problema en México se puede inferir con los datos del Cuadro 1, los cuales indican la proporción del país afectada por varios procesos de desertificación; tan solo la erosión hídrica afecta a 85 % del territorio nacional, y se presenta en todas las regiones del país, aunque con mayor magnitud en aquellas de baja precipitación y/o alta densidad de población (Cuadro 2). Por otro lado, cabe insistir en que la desertificación es provocada principalmente por causas inducidas (87 %), las cuales se deben a: (a) falta de concientización, (b) falta de educación y (c) uso irracional de los recursos naturales, este último por desconocimiento, necesidad y afán de lucro (Ortiz *et al.*, 1994).

EL CONCEPTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE

De acuerdo con Scarascia (1996), para enfrentar la problemática del deterioro ambiental, hay que normar las actividades del hombre según los lineamientos del desarrollo sustentable, instrumento conceptual definido como "el desarrollo en el cual se satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades" (Nuestro Futuro Común; citado por De Graaff, 1993).

Cuadro 1. Magnitud de la desertificación en México.†

Erosión hídrica	85 %	Degradación biológica	80 %
Erosión eólica	60 %	Lixiviación de bases	15 %
Salinidad	20 %	Degradación física	20 %

† Porcentaje del Territorio Nacional afectado por cada proceso.
Fuente: México (1994).

Con este enfoque se pretende mejorar la calidad de la vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan.

Según Dourojeanni (1993), el desarrollo sustentable implica crecimiento económico para satisfacer las necesidades de la población (dimensión económica) pero, a la vez, un acceso igualitario a los recursos naturales (dimensión de equidad social), y para sostener ambas dimensiones se requiere mantener la calidad productiva de dichos recursos (dimensión ecológica). Por tanto, el desarrollo sustentable es una función de crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental.

Complementando lo anterior, Parisi (1997) indica que lo anterior constituye las vertientes: (a) socioeconómica y (b) ecológica; pero en este concepto se involucran además las dimensiones: (c) político-institucional y (d) tecnológico-productiva, e incluso una perspectiva ética. Esta división para fines de estudio, pues dichas vertientes interactúan y se condicionan entre sí.

A pesar de que aún se tienen dificultades de tipo conceptual, teórico y práctico (Mata, 1997), el enfoque de desarrollo sustentable está siendo impulsado por diversos organismos a niveles internacional, nacional y local. Como ejemplo de ello, en 1992 la ONU realizó la "Reunión Cumbre Para la Tierra", con la participación de Jefes de Estado y funcionarios de gobierno de 179 países. Esta reunión "dejó claramente sentada la estrecha vinculación entre el medio ambiente y el desarrollo socioeconómico, los cuales no pueden considerarse aisladamente" (Keating, 1993). Desde este evento, el desarrollo sustentable es el nuevo paradigma que debe seguir la humanidad, o su sobrevivencia sobre la Tierra puede estar seriamente amenazada.

EL SUELO Y SU CONSERVACION EN LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL

El punto de partida para el desarrollo sustentable es la productividad de la naturaleza, con sus limitados recursos y capacidad para absorber los impactos negativos (Miller, 1994; Queitsch, 1997). Para que una tierra sea productiva, se requiere, entre otros aspectos, de dos recursos básicos: agua y suelo, los cuales constituyen la interfase entre la

Cuadro 2. Estimación de áreas erosionadas en México, por región.

Regiones	Erosión inicial	Erosión moderada	Erosión acelerada	Totalmente erosionada	Superficie con erosión	Total
	----- miles de hectáreas -----					%
I Chihuahua, Sonora, Baja California Norte, Baja California Sur	8918	28 595	9183	2866	49 562	86.0
II Durango, Zacatecas, Sinaloa	7305	6990	5176	2937	22 408	89.1
III San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila	5810	11 358	11 581	3065	31 814	88.9
IV Jalisco, Nayarit, Colima, Aguascalientes	1403	2347	4544	774	9068	76.0
V Michoacán, Guerrero, México, Guanajuato	5315	6232	1412	225	13 184	75.0
VI Oaxaca, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Morelos, Hidalgo	7908	3820	2482	2988	17 198	74.8
VII Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Yucatán	7155	3442	941	3034	14 572	61.0
VIII Distrito Federal, Querétaro	395	325	289	16	1025	77.0
Total	44 209	63 109	35 608	15 905	158 831	

Fuente: Adaptado de INEGI (1994).

litosfera y la atmósfera en la cual se desarrolla la vida sobre el planeta; ambos son básicos para la vegetación, la que a su vez sustenta a las demás formas de vida. Para enfatizar sobre la importancia del suelo y de su conservación productiva, cabe mencionar que sus funciones principales son (Blum, citado por Aguilar, 1995): (a) producción agrícola y forestal, base, entre otras cosas, para la obtención de alimentos; (b) reserva genética, componente básico para la estabilidad de los ecosistemas; (c) filtración, amortiguación y transformación de diversas sustancias, lo que confiere al suelo un papel primordial en la lucha contra la contaminación ambiental.

Con estas funciones, es evidente que cualquier situación donde se presente deterioro acelerado del suelo es incompatible con la sustentabilidad ambiental, y sin ella no puede haber desarrollo sustentable. Por lo tanto, la conservación de suelos, entendida como "el conjunto de medidas para la prevención y control de la erosión o el mantenimiento de la fertilidad del suelo" (Stocking, citado por De Graaff, 1993), es un componente básico de dicho desarrollo.

DIFICULTADES PARA ALCANZAR EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MEXICO

En cierta manera, el desarrollo sustentable es un ideal al cual tender, pero difícil de alcanzar en la práctica por aspectos como los que se discuten en los párrafos siguientes.

Dificultades por la Situación Socio-Económica

Gran parte de los problemas de deterioro ambiental y de las dificultades para aplicar medidas correctivas al mismo tienen su raíz en factores económicos y sociales, entre los cuales sobresalen la explosión demográfica y la pobreza. Sobre el primer aspecto, cabe mencionar que la población de México se ha sextuplicado en menos de un siglo, pasando de 16.5 millones en 1930 a 81.3 en 1990, y ello implica una presión mucho mayor sobre los recursos naturales; por ejemplo, la relación de tierra cultivable por individuo ha cambiado en ese período de 1.3 a 0.23 ha *per capita*.

A su vez, la pobreza constituye otro grave problema en México, sobre todo en el medio rural, a causa de la descapitalización sufrida por el sector durante décadas, dado el constante crecimiento desfavorable entre los precios de lo que el campesino produce y lo que requiere comprar (Cuadro 3). La situación es tal, que según Carabias (1993) ocho de cada diez familias del campo son pobres, cuatro en extrema pobreza.

Entre otros efectos negativos, la pobreza de los campesinos les impide invertir en obras de conservación y mejoramiento de sus tierras, con lo que se acentúa un círculo vicioso en el cual el deterioro de los recursos naturales genera más pobreza y ésta más deterioro, y así sucesivamente, en la espiral de la desertificación.

Además, la desertificación no sólo afecta al medio rural; por ejemplo, una de las alternativas que siguen los campesinos en respuesta a este deterioro es emigrar a la ciudad, provocando con ello un exagerado crecimiento de los núcleos urbano-industriales, y como éstos no tienen capacidad para absorber a toda esa mano de obra

Cuadro 3. Deterioro de los precios del maíz en relación con los de los insumos para la agricultura en 1981-1994.

Año	INP insumos agrícolas†	Precio real del maíz‡
1981	122	1593
1985	1097	1441
1990	16 370	1153
1994	29 667	749

Comentario: Como se puede notar, los precios de los insumos se incrementaron en 24 300 % en ese lapso, mientras el precio de la cosecha (maíz) no solo no aumentó, sino que bajó a la mitad.

† Índice nacional de precios de las materias primas para la agricultura. (1980=100).

‡ Precio real del maíz, NS t¹, base 1994.

Fuente: Adaptado de Gómez y Schwentesius (1995).

migrante, en las ciudades se establecen "cinturones de miseria" en donde son comunes el desempleo, la falta de servicios, la inseguridad y el deterioro de valores culturales y éticos. Además, entre los núcleos urbano-industriales y el medio rural se establece una relación tal que los primeros actúan como grandes consumidores de recursos naturales, y a cambio la naturaleza recibe de ellos contaminación del aire, el agua y el suelo, lo cual también es desertificación.

Dificultades Político-Institucionales. El Caso de la Conservación de Suelos

Desde mediados del presente siglo, las políticas oficiales en México han favorecido la descapitalización del campo al privilegiar el desarrollo de los sectores industrial y de servicios a costa del sector primario; incluso dentro del sector mismo se destinó grandes recursos a la agricultura tipo revolución verde, en detrimento de 80 % de los productores rurales, con los resultados descritos en la sección precedente.

Para ejemplificar el hecho de que las políticas oficiales no han dado prioridad a la sustentabilidad ambiental, considérese el caso siguiente. En 1946 se promulgó en México la "Ley de conservación de suelo y agua", y poco después se creó la Dirección General de Conservación de Suelo y Agua. En 1985, ésta fue suprimida para "adelgazar el aparato burocrático", mientras que gran parte de la mencionada ley aún espera su aplicación.

Desde 1985, la instancia oficial encargada de cuestiones de conservación de suelos ha sido ubicada en diferentes dependencias (actualmente en la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP), comúnmente con poco presupuesto y a cargo de profesionales de diferentes disciplinas, y sin la continuidad que requieren las cuestiones ambientales, para

cuya solución se requiere de un enfoque integral y a largo plazo. Desde luego, esta discontinuidad no es privativa de la conservación del suelo; más bien lo común en México es que cada sexenio haya cambios en las políticas y acciones del gobierno; pero la naturaleza tiene sus propias leyes, no precisamente sexenales.

Problemas Relacionados con la Vertiente Tecnológico-Productiva: Agricultura Tradicional y Agricultura Tecnificada

Aunque los avances tecnológicos han constituido un aspecto fundamental para el desarrollo de los pueblos, con frecuencia esta poderosa herramienta del hombre ha sido utilizada exclusivamente con fines económicos, al margen de lineamientos ecológicos. De esta manera, al carecer de criterios conservacionistas, se ha provocado el deterioro de los recursos naturales, a través de la sobreexplotación agropecuaria y forestal, urbanización, contaminación industrial y urbana, entre otros procesos.

Específicamente, en relación con la actividad agrícola, para fines de estudio se puede comparar dos situaciones contrastantes: (a) los sistemas tradicionales de bajos insumos, y (b) la agricultura altamente tecnificada, tipo "revolución verde". El primer caso, aunque puede incluir elementos de sustentabilidad ambiental como los policultivos y el bajo uso de agroquímicos, por su baja productividad no es una alternativa viable para satisfacer la creciente demanda de alimentos de la población; además, es común que se lleve a cabo en terrenos marginales, donde el riesgo de deterioro es alto, y donde son muy limitadas las posibilidades de inversión de capital para conservación y mejora de la tierra.

A su vez, la agricultura tipo "revolución verde" es más productiva, y frecuentemente quienes la practican tienen tierras con menor riesgo de deterioro, ambos aspectos deseables; pero en contraparte, estos sistemas presentan en muchos casos elementos de insostenibilidad, como el impacto ambiental negativo de excesivas dosis de pesticidas y fertilizantes, la debilidad relativa de las especies mejoradas a los agentes ambientales y la resistencia creada por los agroquímicos en plagas y enfermedades.

Problemas Relativos a la Dimensión Ecológica

Un elemento básico para alcanzar el desarrollo sustentable es la sustentabilidad ambiental. Considerar esto es particularmente importante en México donde por componentes del medio físico hay predisposición a la

desertificación, como la topografía accidentada, la distribución irregular de la precipitación, e incluso la ubicación latitudinal del país.

En efecto, por su latitud, la parte norte del país se ubica en una zona de alta presión atmosférica, razón por la cual pertenece a la franja de los grandes desiertos del mundo, con baja precipitación y deficiente cobertura vegetal, condiciones que favorecen la erosión eólica y el ensaltramiento. A su vez, la región central del país, por su relieve accidentado presenta un alto riesgo de erosión hídrica, mismo que se agrava por la elevada concentración humana. Finalmente, en la zona sureste del país, la temperatura y precipitación elevadas favorecen la degradación biológica, la acidez del suelo y la erosión hídrica, en particular cuando el hombre elimina la cobertura vegetal natural.

ACCIONES QUE SE DEBEN IMPULSAR EN MEXICO PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE

Para un efectivo control de la desertificación, más que los efectos, hay que eliminar las causas que provocan ese deterioro. Por lo tanto, las estrategias apropiadas deben incluir la identificación de dichas causas, su jerarquización, y la determinación de las acciones pertinentes para su control. En la búsqueda del desarrollo sustentable para el caso de México, es necesario considerar los siguientes aspectos.

Con Respecto a la Dimensión Ecológica

Puesto que gran parte de México presenta susceptibilidad a la desertificación, para aspirar a la sustentabilidad ambiental es necesario poner énfasis en la planeación del uso adecuado de la tierra, y no exceder su capacidad de renovación. Esto implica que al explotar los recursos naturales haya congruencia entre la capacidad y limitaciones de la tierra, con los requerimientos del uso que se le pretende dar. Además, al utilizar terrenos con riesgo de deterioro, se deben considerar las medidas necesarias para proteger las cuencas, conservar los recursos naturales, y restaurar áreas deterioradas; en todo ello es básica la utilización de estrategias y prácticas de conservación de suelos.

En la Dimensión Socio-Económica

Como las causas de la desertificación son principalmente inducidas, es claro que la concientización,

la educación y capacitación son un componente fundamental en el combate a la desertificación. Concientización sobre lo que representa la sobrepoblación humana en relación con los recursos finitos de la naturaleza, y sobre la importancia de conservar los recursos base para la vida; educación sobre los límites de aprovechamiento de esos recursos, y su uso múltiple; y capacitación para manejarlos adecuadamente.

De igual manera, es fundamental el efectivo combate a la pobreza, pues a causa de ella, además de otros problemas, los habitantes del medio rural sobreexplotan los recursos naturales porque no tienen otras alternativas para satisfacer sus necesidades elementales.

Finalmente, la sociedad actual debe reflexionar y hacerse una severa autocrítica, por haber puesto en los primeros niveles de su escala de valores su afán de acumular poder y riquezas materiales, generalmente por encima de valores ecológicos, éticos y religiosos, y ello no es congruente con el desarrollo sustentable. Ese afán de lucro debe moderarse y supeditarse a valores que permitan la sustentabilidad; se requiere establecer y observar normas éticas para regir no solo las relaciones entre humanos, sino también las de éstos con la naturaleza; una ética que aunque antropocéntrica, incorpore elementos ecocéntricos (Scarascia, 1996).

En la Dimensión Político-Institucional

Esta vertiente es de gran importancia, sea para posibilitar el desarrollo sustentable o bien para dejarlo en el nivel de utopía, pues en este ámbito se toman las decisiones sobre las prioridades nacionales. Para aspirar a ese desarrollo, se requiere impulsar el desarrollo del medio rural y cuidar los recursos de suelo, agua y bosques; se deben aplicar estrategias que reviertan el proceso de descapitalización a que ha sido sometido el campo durante décadas. De igual manera, es imperativo reducir la pobreza, el desempleo, la desigualdad entre el campo y la ciudad, entre muchas otras causas de desertificación.

Así mismo, se requiere de eficientes incentivos económicos y sociales para aquellas acciones que promuevan la conservación y la restauración ambiental, así como impulsar la gestión comunitaria de proyectos locales involucrando a los propios usuarios.

En la Vertiente Tecnológico-Productiva

El desarrollo sustentable requiere que la investigación y el desarrollo tecnológico se ocupen también de las zonas de bajo potencial; por ejemplo, de políticas encaminadas

a subsanar las deficiencias alimentarias, de la búsqueda de medios alternos al uso de pastizales comunales, el impulso al uso de insumos producidos en la finca, mayor apoyo a sistemas que integren agricultura con pastizales, árboles y producción de leña.

Por su parte, en las zonas de alto potencial hay que conceder prioridad a la tarea de sostener la productividad de la tierra, evitar el monocultivo, reducir el ensilitramiento de los terrenos bajo riego, y la excesiva utilización de aguas subterráneas. Así mismo, se requiere una integración más estrecha de las zonas de alto potencial, con los bosques y aguas adyacentes, impulsando el manejo integral de las cuencas. Para todo lo anterior, hay conocimiento empírico, técnico y científico del cual partir; pero además de éste, se requiere de un cambio de mentalidad en la sociedad, de manera que el óptimo económico clásico, y en general el afán de lucro, sean acotados por la prioridad del desarrollo sustentable.

¿POSIBILIDAD O UTOPIA EN MEXICO?

En las secciones precedentes se ha descrito brevemente la problemática para el desarrollo sustentable en México; también se mencionaron algunos lineamientos a seguir para tender hacia ese desarrollo: el combate a las causas socioeconómicas del deterioro, planeación del uso de la tierra, conservación de suelos; ... y en el párrafo anterior se afirma que hay el conocimiento necesario para ello; ¿Porqué entonces se plantea la disyuntiva de posibilidad o utopía? La respuesta tiene que ver con las siguientes consideraciones.

Las perspectivas para el uso extensivo y efectivo de medidas de conservación de suelos que conlleven a la sustentabilidad ambiental no son muy alentadoras en México, pues bajo su situación económica actual, el sector rural no puede generar excedentes para invertir en acciones de conservación. Por su parte, los sectores que detentan el poder económico del país no están dispuestos a invertir en el medio rural porque "el campo no reditúa"; y con su lógica economista (la mayor ganancia en el menor tiempo, con el menor costo) actúan acertadamente; pero esa "lógica" es un gran obstáculo para alcanzar la sustentabilidad. Por lo tanto, se requiere un cambio de valores, de manera que el desarrollo sustentable sea más importante que la acumulación de poder y riquezas; ¿qué tan utópico será esperar que ocurra ese cambio?

Por otro lado, el impulso a la educación y el combate a la pobreza, son dos aspectos con mucho rezago en México; incluso, con las crisis económicas de los ochentas y noventas, hay en el país la tendencia a reducir el acceso

a la educación; y ni qué decir que la pobreza se ha incrementado en este lapso, sobre todo en el medio rural. Pero las políticas nacionales están más ocupadas en presentar una buena imagen al exterior o en asegurar su dominio del poder interno que en los problemas de deterioro del país; así, pretender un desarrollo sustentable en México tiene tintes de utopía, pues las directrices nacionales no parecen estar dirigidas a alcanzarlo.

Para que tal desarrollo no sea utopía, y el combate a la desertificación sea efectivo, es necesario que se eliminen las causas del deterioro físico, económico y social mencionadas; controlar el crecimiento demográfico; lograr crecimiento económico con equidad en la distribución de la riqueza; impulsar la educación y valores éticos sobre la relación hombre-naturaleza, en todos los niveles de la sociedad; convencimiento de que el crecimiento económico no debe ni puede darse a costa de destruir nuestro medio ambiente. Además, la sociedad actual debe afrontar su responsabilidad sobre la conservación de la biodiversidad y la calidad de mundo que heredará a las generaciones futuras.

En síntesis, más que limitaciones técnicas, en México existen diversos factores sociales, económicos, éticos y políticos que dificultan alcanzar el desarrollo sustentable; se requiere cambiar la mentalidad y escala de valores de la sociedad, de manera que satisfacer las necesidades de la población y conservar productiva la tierra sean más importantes que la acumulación de poder y riquezas por unos cuantos. Del grado en que se logren aspectos como éstos, depende que el desarrollo sustentable sea una posibilidad o una utopía.

LITERATURA CITADA

- Aguilar S., A. 1995. Retos y oportunidades de la ciencia del suelo al inicio del siglo XXI. *Terra* 13: 3-16.
- Carabias L., J. 1993. Hacia un modelo de desarrollo sustentable. *In: Alternativas para el campo mexicano*. D. Fontamara, S.A. México D.F.
- CONAZA y SEDESOL. 1994. Plan de acción para combatir la desertificación en México. Comisión Nacional de Zonas Áridas y Secretaría de Desarrollo Social. México
- De Graaff, J. 1993. Soil conservation and sustainable land use. An economic approach. Royal Tropical Institute. Amsterdam. The Netherlands.
- Dourojeanni. 1993. Procedimientos de gestión para un desarrollo sustentable. ONU/CEPAL. Santiago de Chile, Chile.
- Duarte, R. 1990. Contribución del representante y jefe de la misión diplomática de la FAO en México al Primer Simposio Nacional sobre Degradación de Suelos. pp. 97-103. *In: Memorias del Simposio*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- FAO. 1989. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. pp. 65-97.

- Gómez C., M.A. y R. Schwentesius.R. 1995. Impacto de la devaluación en el sector agropecuario. Reporte de investigación No. 26. CIESTAAM-UACH. Chapingo, México
- INEGI. 1994. Estadísticas del medio ambiente. México.
- Keating, M. 1993. Cumbre para la Tierra. Programa para el cambio. Centro para Nuestro Futuro Común. Ginebra, Suiza.
- Mata G. B. 1997. Agricultura y sustentabilidad. pp. 4-7. *In*: Agricultura ¿sustentable o sostenible? Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Miller, T. 1994. Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- Ortiz Solorio, M.L.M., M. Anaya Garduño y J. Estrada Berg Wolf. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Colegio de Postgraduados-CONAZA. México.
- París, J.L. 1997. Notas del curso "Desarrollo curricular y educación agrícola". Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Queitsch Krokors, J. 1997. Reflexiones sobre el concepto de desarrollo sustentable. pp. 10-24. *In*: Agricultura ¿Sustentable o sostenible? Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Scarascia M., G.T. 1996. Ethics of biodiversity conservation. pp. 622-629. *In*: Biodiversity, science and development. CAB•International, Cambridge, UK.