



TERRA

Volumen 13

Julio-Septiembre de 1995

Número 3

DIVISION I

INDICE

- A**lgunas propiedades físicas relacionadas con la calidad del suelo bajo tres tipos de vegetación.
A. GOMEZ G.,
D.J. CAMPBELL y
E.A.G. ROBERTSON 207

Clasificación de tierras para el manejo del suelo y agua de la subcuenca de Cuzalapa, Sierra de Manantlán, Jal.

- J.J. SANDOVAL L. y
L.M. MARTINEZ R. 216
- Áreas potenciales para el cultivo de cucurbitáceas en el proyecto de riego Chilatan de Tepalcatepec, Mich.

- L.M. TAPIA V., A. RUIZ C.,
A. MUÑOZ V., M. TISCAREÑO,
E. VENEGAS G., C. SANCHEZ B.,
R. MOLINA y X. CHAVEZ C. 231

Hidrodinámica de suelos bajos en zonas áridas del norte de México.
V.M. REYES G. 244

DIVISION II

- U**so de agua en cultivos de vid durante la brotación y crecimiento inicial del brote.
C. GODOY A. y
MA. V. HUITRON R. 255

Aislamiento e inoculación de *Azospirillum* sp. en maíz en invernadero.
E. ESPINOSA A.,
J. VENEGAS G.,
R. QUINTERO S. y
E. MARTINEZ B. 264

DIVISION III

- L**a terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. I. Análisis del desarrollo de la terraza durante 6 años.
A. TURRENT F., S. URIBE G.,
N. FRANCISCO N. y R. CAMACHO C. 276

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,
Editor en jefe
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,
Editor adjunto
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
Editor técnico
DRA. KLAUDIA OLESCHKO,
Editor técnico
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,
Editor técnico
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,
Editor de estilo

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA, México
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, México
DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, México
DR. JESUS CABALLERO MELLADO, México
DR. LENOM J. CAJUSTE, México
DR. RONALD FERRERA CERRATO, México
DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, México
M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, México
DR. REGGIE J. LAIRD, México
DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, México
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, México
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, México
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, México
DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, México
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, México
DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, México
DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, México
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, México

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile
DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria
DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica
DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia
DR. HARI ESWARAN, USA
DR. ANTHONY FISCHER, Australia
DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, España
DR. RENATO GREZ Z., Chile
DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba
DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, España
DR. ERIC S. JENSEN, Dinamarca
DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile
DR. JOHN T. MORAGHAN, USA
DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina
DR. CHRISTIAN PRAT, Francia
DR. PARKER F. PRATT, USA
DR. PAUL QUANTIN, Francia
DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile
DR. CARLOS ROQUERO, España
DR. KARL STAHR, Alemania
DR. BERNARDO VAN RAIJ, Brasil
DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba
DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brasil

CUERPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
Distribución
SRA. MARCELINA ESPEJEL E.,
Producción

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

Volumen 13-3, julio-septiembre 1995.

ISSN 0187-5779

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

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

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

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

INDICE

EDITORIAL

Artículos Científicos

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

Algunas propiedades físicas relacionadas con la calidad del suelo bajo tres tipos de vegetación. A. GOMEZ G., D.J. CAMPBELL y E.A.G. ROBERTSON. 207

Clasificación de tierras para el manejo del suelo y agua de la subcuenca de Cuzalapa, Sierra de Manantlán, Jal. J.J. SANDOVAL L. y L.M. MARTINEZ R. 216

Áreas potenciales para el cultivo de cucurbitáceas en el proyecto de riego Chilatan de Tepalcatepec, Mich. L.M. TAPIA V., A. RUIZ C., A. MUÑOZ V., M. TISCAREÑO, E. VENEGAS G., C. SANCHEZ B., R. MOLINA y X. CHAVEZ C. 231

Hidrodinámica de suelos bajos en zonas áridas del norte de México. V.M. REYES G. 244

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

Uso de agua en cultivos de vid durante la brotación y crecimiento inicial del brote. C. GODOY A. y MA. V. HUITRON R. 255

Aislamiento e inoculación de *Azospirillum* sp. en maíz en invernadero. E. ESPINOSA A., J. VENEGAS G., R. QUINTERO S. y E. MARTINEZ B. 264

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. I. Análisis del desarrollo de la terraza durante 6 años. A. TURRENT F., S. URIBE G., N. FRANCISCO N. y R. CAMACHO C. 276

La Terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. II. Cambio en algunas propiedades físicas y químicas del suelo. A. TURRENT F., S. URIBE G., N. FRANCISCO N., R. CAMACHO C., M. ESPINOSA R. y R. MORENO D. 299

La Terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. III. Desempeño agronómico del cultivo doble del maíz en temporal. A. TURRENT F., S. URIBE G., N. FRANCISCO N. y R. CAMACHO C. 317

División IV: Educación y Asistencia Técnica

Encalado y disponibilidad de fósforo y potasio en suelos ácidos. R. ZETINA L., L.J. CAJUSTE, J. ALVARADO L., A. TRINIDAD S. y L.L. LANDOIS P. 338

Evaluación de abonos verdes en un clima semiárido del estado de Colima, México. O. PEREZ-ZAMORA. 347

Efecto de la incorporación de abonos verdes en la producción de melón en Colima. O. PEREZ ZAMORA, O. LOPEZ-ARRIAGA y M. OROZCO-SANTOS. 360

Aplicación de mejoradores químicos a un suelo calcimórfico con y sin cobertura plástica en la producción de melón. O. PEREZ-ZAMORA, O. LOPEZ-ARRIAGA y M. OROZCO-SANTOS. 368

Crecimiento del girasol en función de la salinidad y nitrógeno. J.A. ESCALANTE E. 376

Comentarios y Cartas al Editor

Comentario sobre uso correcto de palabras. J. ALVARADO L. 385

EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,
Editor-in-chief
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,
Associate editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
Technical editor
DRA. KLAUDIA OLESCHKO,
Technical editor
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,
Technical editor
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,
Style editor

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA, Mexico
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Mexico
DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, Mexico
DR. JESUS CABALLERO MELLADO, Mexico
DR. LENOM J. CAJUSTE, Mexico
DR. RONALD FERRERA CERRATO, Mexico
DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, Mexico
M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, Mexico
DR. REGGIE J. LAIRD, Mexico
DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, Mexico
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Mexico
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Mexico
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Mexico
DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, Mexico
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Mexico
DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Mexico
DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, Mexico
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, Mexico

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile
DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria
DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica
DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia
DR. HARI ESWARAN, USA
DR. ANTHONY FISCHER, Australia
DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, Spain
DR. RENATO GREZ Z., Chile
DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba
DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, Spain
DR. ERIC S. JENSEN, Denmark
DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile
DR. JOHN T. MORAGHAN, USA
DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina
DR. CHRISTIAN PRAT, France
DR. PARKER F. PRATT, USA
DR. PAUL QUANTIN, France
DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile
DR. CARLOS ROQUERO, Spain
DR. KARL STAHR, Germany
DR. BERNARDO VAN RALL, Brazil
DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba
DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brazil

EDITORIAL STAFF

M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
Distribution
SRA. MARCELINA ESPEJEL E.,
Production

"TERRA", Registration pending. Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science.

Volume 13-2, July-September 1995.

ISSN 0187-5779

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

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

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

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

INDEX

EDITORIAL

Scientific Articles

Division I: Diagnosis Methodology and Evaluation of the Soil Resource

- Some physical properties related to soil quality under three types of vegetation. A. GOMEZ G., D.J. CAMPBELL, and E.A.G. ROBERTSON. 207
- Land classification for soil and water management in Cuzalapa watershed, Sierra de Manantlan, Jal. J.J. SANDOVAL L. and L.M. MARTINEZ R. 216
- Potential areas for cucurbit crops in the Chilatan irrigation project of Tepalcatepec, Mich. L.M. TAPIA V., A. RUIZ C., A. MUÑOZ V., M. TISCAREÑO, E. VENEGAS G., C. SANCHEZ B., R. MOLINA, and X. CHAVEZ C. 231
- Hydrodynamics of low-land soils in arid zones of northern Mexico. V.M. REYES G. 244

Division II: Soil-Climate-Biota Relationship

- Grape cultivars water use between bud-burst and initial shoot growth. C. GODOY A., and MA. V. HUTTRON R. 255
- Insolation of *Azospirillum* sp. and its inoculation to corn in the Greenhouse. E. ESPINOSA A., J. VENEGAS G., R. QUINTERO S., and E. MARTINEZ B. 264

Division III: Use of the Soil Resource

- The living wall terrace for sustainable hill farming in the subhumid tropic of Mexico. I. Analysis of six years terrace development. A. TURRENT F., S. URIBE G., N. FRANCISCO N., and R. CAMACHO C. 276
- The living wall terrace for sustainable hill farming in the subhumid tropic of Mexico. II. Change in some chemical and physical soil properties. A. TURRENT F., S. URIBE G., N. FRANCISCO N., R. CAMACHO C., M. ESPINOSA R., and R. MORENO D. 299
- The living wall terrace for sustainable hill farming in the subhumid tropics of Mexico. III. Agronomic performance of rainfed maize in a double cropping system. A. TURRENT F., S. URIBE G., N. FRANCISCO N., and R. CAMACHO C. 317

Division IV: Education and Technical Assistance

- Liming and phosphorus and potash availability in acid soils. R. ZETINA L., L.J. CAJUSTE, J. ALVARADO L., A. TRINIDAD S., L.L. LANDOIS P. 338
- Green manure crops evaluation in a semi-arid climate of Colima, Mexico. O. PEREZ-ZAMORA. 247
- Green manures and yield response of muskmelon in Colima. O. PEREZ-ZAMORA, O. LOPEZ-ARRIAGA, and M. OROZCO-SANTOS. 360
- Chemical amendments applied to a calcimorphic soil and its effects on yield of cantaloupe melon grown with and without plastic mulching. O. PEREZ-ZAMORA, O. LOPEZ-ARRIAGA, and M. OROZCO-SANTOS. 368
- Salinity and nitrogen and their effects on sunflower growth. J.A. ESCALANTE E. 376

Comments and Letters to the Editor

- Comment about correct use of words. J. ALVARADO L. 385

EDITORIAL

En el marco de la VIII Feria Internacional del Libro, en 1994, con el apoyo de UNESCO y de la Universidad de Guadalajara, y bajo los auspicios de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) y la Academia de la Investigación Científica de México (AIC), se realizó el Taller Internacional sobre Publicaciones Científicas en América Latina, promovido por los Comités de Publicaciones (ICSU Press) y de Ciencia y Tecnología para Países en Desarrollo (COSTED/IBN) del Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU).

Los objetivos generales del Taller fueron promover y facilitar una colaboración regional más activa entre los editores de publicaciones científicas, aumentar la presencia de la ciencia latinoamericana, a través de sus publicaciones en el mundo científico, y reforzar la cooperación regional e internacional entre los científicos de las ciencias naturales exactas.

Aunque TERRA no participó en el Taller, tuvo acceso a las propuestas y resoluciones del mismo y, por considerarlas de gran interés y trascendencia, da a conocer algunas de éstas. Agradecemos a la Dra. Ana María Cetto, del Instituto de Física de la UNAM, el acceso a la información señalada.

Las conclusiones del Taller mencionan que las publicaciones en ciencia y tecnología constituyen el vehículo primordial de comunicación del nuevo conocimiento. Son testimonio importante de la producción científica, a la vez que ponen de manifiesto la competencia en el control de las técnicas de comunicación y circulación de informaciones científicas fundamentales en el mundo moderno. Difunden conocimientos e informa-

ciones esenciales para la formación de recursos humanos especializados y para el desarrollo económico y social. Además, son canales privilegiados de cooperación científica entre países y contribuyen al intercambio de conocimientos en áreas estratégicas para consolidar la integración regional.

Para asegurar que las funciones de las publicaciones, especificadas arriba, se cumplan a satisfacción, se propuso crear un foro permanente de editores de publicaciones científicas en América Latina. Este foro podría ser una red con una estructura sencilla, tomando como ejemplo la Red Latinoamericana de Biología (RELAB); se apoyaría en las federaciones y redes ya existentes y en las sociedades científicas latinoamericanas. También se acordó solicitar a los organismos nacionales de ciencia y tecnología que en la evaluación del desempeño de los investigadores, valoricen la publicación de sus trabajos en las revistas de América Latina y que contribuyan a financiar la publicación de los resultados alcanzados.

Los asistentes al Taller reconocieron que las publicaciones científicas de América Latina tienen precaria presencia en el contexto mundial y reducida circulación. Las ideas e investigaciones generadas que esta parte del mundo son poco debatidas por la comunidad científica internacional, situación que se ve agravada por el reducido conocimiento que se tiene de la sociedad, naturaleza y ambientes de América Latina. Todo lo anterior resulta en un aislamiento y limitado peso político de la región en los escenarios del mundo, que se profundiza por una falta de procedimientos transparentes, confiables y apropiados para

evaluar la calidad de las revistas científicas producidas en la región.

Como una manera de comenzar a resolver el problema anterior, se ha propuesto a las organizaciones de ciencia y tecnología nacionales la elaboración de un Catálogo Latinoamericano de Revistas Científicas, con datos tales como: disciplina, organización que respalda la publicación, periodicidad, tiraje, arbitraje, y otros. Conjuntamente, se solicitará a dichas instituciones la elaboración de parámetros e indicadores apropiados para analizar la situación de las revistas científicas de la región, así como la elaboración de nuestros propios criterios de evaluación de dichas revistas.

Igualmente, se juzgó importante que las sociedades científicas promuevan a todo nivel las revistas científicas latinoamericanas consolidadas, así como recomendar la fusión de aquellos órganos inestables, con otros que ya tengan prestigio y solidez.

En un acápite especial, se sugiere a los editores y responsables de las revistas científicas de América Latina: 1) incrementar su difusión, especialmente en su ámbito natural; 2) ampliar los comités editoriales con participación internacional; 3) disminuir los tiempos de evaluación de los manuscritos; 4) formar una mayor integración entre los

editores; 5) promover el conocimiento de la información actualizada de los índices internacionales de evaluación de las revistas; 6) profesionalizar la actividad de los editores técnicos; e 7) incorporar el uso de nuevas tecnologías y estrategias de mercadotecnia para la producción y distribución de las revistas.

El Taller también hizo valiosas recomendaciones en relación con revistas de divulgación científica y libros de ciencia y tecnología, mismas que están contenidas en el documento editorial, que será publicado por los organizadores.

TERRA, órgano científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, se adhiere a todas las conclusiones y recomendaciones de este Taller y se hace el firme propósito de promoverlas y adoptarlas. La Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo había iniciado, en forma independiente, hace algunos años, una campaña destinada a que se valorizaran las publicaciones nacionales de calidad, a que se respetara el español como vehículo de la comunicación científica en México, sin excluir la posibilidad de publicar trabajos en otros idiomas, a formar una cultura en la comunicación científica y tecnológica, etc. Por ello, pensamos que la causa que motivó el Taller es nuestra propia causa.

El editor.

SOME PHYSICAL PROPERTIES RELATED TO SOIL QUALITY UNDER THREE TYPES OF VEGETATION

Algunas Propiedades Físicas Relacionadas con la Calidad del Suelo bajo Tres Tipos de Vegetación

A. Gómez G.¹, D. J. Campbell², and E. A. G. Robertson²

¹Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

²Scottish Centre of Agricultural Engineering, SAC, Bush Estate, Penicuik, Mildothian, UK.

Palabras clave: Suelo forestal, Compactibilidad, Estabilidad de agregados, Límite plástico.

Index words: Forest soil, Compactibility, Aggregates stability, Plastic limit.

SUMMARY

Some physical properties related to soil quality were compared under three land-use types, namely, forest, grassland and cropped soils. In general, the results showed that the cropped and under grass soils had similar physical properties, while the forest soil is considerably different. The small differences in organic matter content, over a range of 2 % (w/w) for soils under three types of use and vegetation, affected considerably other soil properties, mainly compactibility and aggregate stability. The forest soil had more organic matter and therefore had a greater resistance to compaction than that under grass or

the one cropped. This difference is likely to have occurred due to an increase in the aggregate stability and plastic limit of the forest soil. Laboratory procedures showed that Casagrande method for determining plastic limit was not as sensitive to the small differences in soil organic matter content as was the cone penetrometer plastic limit method.

RESUMEN

Se compararon algunas propiedades físicas relacionadas con la calidad del suelo bajo tres diferentes usos, a saber, suelo forestal, suelo de pastizal y suelo cultivado. En general, los resultados mostraron que el suelo bajo cultivo y el de pastizal tienen propiedades físicas similares, mientras que el suelo forestal es considerablemente diferente. Una pequeña diferencia en contenido de materia orgánica de alrededor del 2 % (peso/peso) afectó considerablemente otras propiedades físicas en los tres suelos, principalmente compactibilidad y estabilidad de agregados. El suelo forestal presentó mayor contenido de materia orgánica y mayor resistencia a la compactación que el suelo de pastizal o bajo cultivo.

Recibido 11-94.

Probablemente, estas diferencias se debieron a un incremento en en la estabilidad de agregados y el límite plástico del suelo de bosque. Los procedimientos de laboratorio mostraron que el método de Casagrande para determinar el límite plástico no fue sensitivo a la pequeñas diferencias en contenido de materia orgánica como lo fue el método del penetrómetro de cono.

INTRODUCTION

An understanding of soil physical properties and their relationships is required in order to improve the optimum management of any soil. It has been recognised that the passage of vehicles and implements may cause serious disturbances in the physical properties and affect soil productivity. These effects can be observed in soils used for agricultural, horticultural and forest production (Soane, 1990). Soil management and vegetation are two factors which affect the soil organic matter content and hence its inherent physical properties, such as compactibility, and aggregate stability and consistency. Organic matter, in general, has a positive effect on aggregate stability and increases the ability of soil to resist compaction (Edwards, 1991). It has been found that liquid and plastic limits increase with the organic matter content (Archer 1975, cited in Campbell, 1991), although the role of organic matter in this context may vary with the nature of the organic material involved (Odell *et al.*, 1960). The physical properties of the soil are closely linked to some important processes, such as water storage, and movement, and soil temperature, that subsequently determine soil quality. Thus, these properties are of decisive importance in determining soil productivity.

The purpose of this paper research was to contrast the behavior of a soil under two agricultural ecosystems, cultivated soil and grass, and under a natural ecosystem, old-growth forest, with respect to soil physical properties. The laboratory methods utilized for this purpose were the standard procedures (Campbell, *et al.*, 1978) used at the Scottish Centre of Agricultural Engineering (SCAE), at Bush Estate, Penicuik, Scotland. U.K.

MATERIALS AND METHODS

Description of the investigated sites and soil sampling

The study was undertaken at Bush Estate, 10 km south of Edinburgh, Scotland, U.K.. The location has an average annual rainfall of 845 mm, and the altitude is 200 m. The soil is Winton series (Gleysol, FAO classification) and consists of a clay loam topsoil overlying a clay loam subsoil (Dickson and Ritchie, 1993). Disturbed samples of surface soil, 0-20 cm depth, under three different conditions of vegetation were collected. The sample locations were within a distance of 100 m from each other, distributed on the same type of soil. The first site was a forest area which is a mixed stand where the main species of trees are *Larix decidua*, *Fagus sylvatica*, *Tsuga heterophylla* and *Crataegus monogynia*. This site is a typical woodland that can be found at the boundaries between agricultural (or grassland) and natural forest zones. The second site was a grassland sown in 1984 and represented, mainly, by *Lolium perenne* and *Trifolium repens*. The third site was a cultivated soil where potatoes (*Solanum tuberosum*) are grown in an arable rotation. Unlike the first two sites, the third site had a

disturbed surface layer, which is usually named Ap horizon.

Sample preparation

The soils were air-dried. During this step the samples were mixed by hand two or three times a day to ensure uniform drying. After air drying (about 3% w/w moisture content) the soils were passed through a 2 mm sieve. The soil retained on the 2 mm sieve was passed through a 2.8 mm sieve to obtain a 2 - 2.8 mm size fraction which was used for aggregates stability tests. The soil which passed through the 2 mm sieve was split, about 800 g was used for compactibility tests, the remainder of each sample was passed through a 425 μ m sieve for use in plasticity tests.

The soil samples were mixed and divided by means of a riffle box to ensure homogeneous and representative subsamples.

Compactibility

The method used was the Bruce compaction test (Bruce, 1955). This procedure allows the analysis of compactibility in relation to moisture content. Measured volumes of water were added to a set of subsamples of each soil, so that the water content increased in steps of about 3% (w/w). A range of moisture contents including values below and above the expected optimum was obtained. The optimum water content tends to be between 10% and 20% (w/w) (Hillel, 1982), and as results from an earlier work of Bickerton (1988), who suggested that the optimum may be at the wetter end of this range, values from 12% moisture content were used.

Each sample was placed into a test cylinder. A tamper foot was lowered so that it rested on the soil. Then, the weight of the tamper was released ten times on the sample. The cross-sectional area of the test cylinder and the height of the soil sample, after the compactive effort, were used to calculate the sample volume. After calculating the water content of the sample, the dry bulk density of the soil was estimated.

Aggregate stability

A wet sieving method was used to assess the degree of stability of soil aggregates. This type of method measures the vulnerability of aggregates in relation to the destructive action of water. To evaluate this soil property a wet sieving machine, which was built at the SCAE (Bickerton, 1988), was utilized. Four sets of three sieves, with mesh size of 2.0, 1.0 and 0.5 mm, were placed into the tank of the machine. The tank was previously filled with water so that the upper sieves (2.0 mm) were 5 to 8 mm below the water surface in the lowest position. A 50 g sample was quickly emptied on to each of the four top sieves and left for 10 minutes to soak. After the soaking period the wet sieving machine was run for 7 minutes, making the four sets of sieve oscillate vertically in water. The sieves were removed from the tank and oven dried at 105 °C for 2 hours. The weight of aggregates retained on each sieve was calculated by subtracting the weight of each sieve. Immediately after, the content of each set of sieves was transferred to glass beakers. Water was added to each beaker and, using a rubber ended glass rod, the surviving aggregates were completely destroyed in order to ensure a separation of gravel and coarse sand (USDA textural classification). A second

test was performed to determine the weight of gravel and coarse sand retained on each sieve. The results were reported in two ways: 1) as the percentage of stable aggregates in relation to the weight of the original sample, which is commonly named stability index (Kemper, 1965); and 2) as the mean weight diameter of the aggregates (Van Bavel, 1949), which sums the percentage mass of aggregates for each intersieve size class.

Liquid and plastic limits (Cone-penetrometer).

The liquid and plastic limits were determined by the drop-cone method (Campbell, 1975; Campbell, 1976). Samples of soil at different water contents were prepared and thoroughly mixed. The range of water content was from 5% to 48%, approximately. Each soil sample was pushed into the drop-cone penetrometer container, using a spatula. This was done in three steps to ensure that no air was trapped. Next, the soil was levelled off flush with the top edge of the container. The cone was lowered so that it just touched the soil surface in the centre of the sample. Later on, the cone and its shaft were released for 5 seconds after which the penetration was measured with a dial gauge. A graph of penetration against water content was used to describe, with a curve, the tendency of the data in the region of the plastic limit and to define the minimum penetration. This was done by two methods, namely, by fitting the curve by eye and by using a polynomial equation. A linear model in the region of the liquid limit was fitted by using regression. The nearest integer of the water content corresponding to the lowest penetration was recorded as the plastic limit, while the nearest integer of the water content corresponding to a penetration of 20 mm was recorded as the liquid limit.

Plastic limit (Casagrande test)

The simpler Casagrande plastic limit test, was also carried out on the test soils. This test involves wetting and mixing a 20 g sample of $< 425 \mu\text{m}$ soil until it is plastic. The sample is then split into eight aliquots of approximately two or three grammes each. Each aliquot of soil is formed into a thread and rolled between the fingers and a glass plate (BS 1377 : 1975) until the soil dries towards its plastic limit and begins to crack. This procedure is repeated using the two sets of four aliquots to provide two samples for determination of moisture content at the plastic limit. Again the result is reported to the nearest integer value. This test requires little equipment but is fairly subjective.

Linear shrinkage

This property was evaluated by means of a British Standard method (BS 1377 : 1975). A sample of about 150 g $< 425 \mu\text{m}$ soil was mixed with water on a flat glass plate until a smooth homogeneous paste was obtained. This mix was prepared so that the water content was in the region of the soils' liquid limit. A sample of each of the three soils were placed in a metallic linear-shaped mould to which a thin film of silicone grease had been previously applied. The soil was levelled flush with the top of the mould by means of a spatula. Some light blows to the mould were necessary to eliminate air pockets. The drying of the samples was done in three steps. Firstly at room temperature (about 18°C) until the samples shrank free of the walls of the mould. Then in the oven at 65°C until shrinkage was finished, and finally at 105°C for 8 hours.

Organic matter

The organic matter content was estimated from the soil organic carbon, which was determined by the wet oxidation method of Walkley and Black (1934). The soil used was passed through a 590 μm sieve.

RESULTS

Compactibility

The compactibility of the three soils is illustrated in the Figure 1. Although the three soils were subjected to the same compactive load, there are some differences in the maximum dry bulk density (MDBD) and in the associated water content (Table 1). The soils from the grass and the cultivated area show

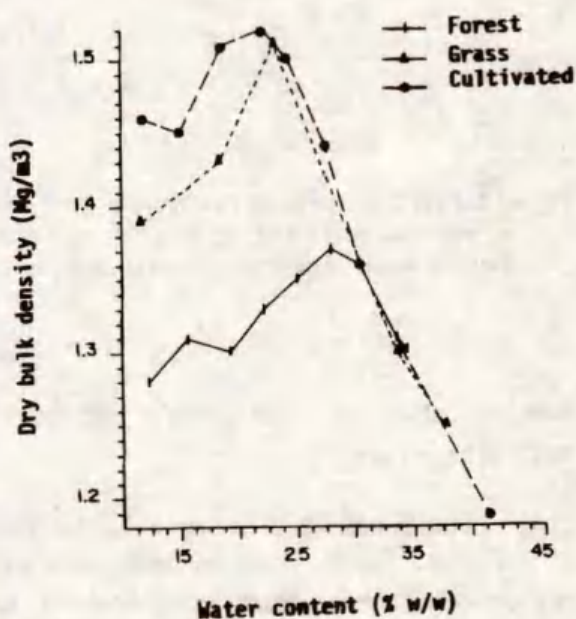


Figure 1. Relationship between dry bulk density and water content, using the *Bruce compaction* test.

Table 1. Results of the Bruce Compaction Test.

Soil	MDBD mg/m ³	Water content at MDBD % w/w
Forest	1.37	28.0
Grass	1.51	23.2
Cultivated	1.52	22.2

similar behaviour, particularly at moisture contents above 25 % (w/w). The trend of the compactibility for the soils decreases at the same rate as the soil water content exceeds 30 %. However, the general tendency of the forest soil was noticeably different from that of the other two soils. In this case the MDBD was 1.37 Mg/m³ which was achieved at 28.0% of water content. The latter means that forest soil maximum dry bulk density is about 9 % less than that of the other soils and its optimum moisture content is approximately 5% (w/w) higher.

Aggregate stability

The procedure used was very consistent for the three soils (Table 2). The four replicates used did not show high variation (less than 6.2 %). The highest value of the maximum weight diameter (MWD) was observed in the forest soil (1.43), while the maximum stability index (SI) was obtained in the soil from the grass site (76.9 %). Although the results of MWD and SI did not show the same trend in relation to the vegetation, it can be inferred from Table 1 that the aggregate stability of forest and grass soils are markedly different from that of the cultivated soil.

Table 2. Parameters of aggregate stability and their coefficient of variation (in parenthesis).

Site	MWD mm	SI %
Forest	1.43 (3.9)	75.8 (1.0)
Grass	1.38 (3.0)	76.9 (0.9)
Cultivated	0.89 (6.2)	62.5 (4.5)

Liquid and Plastic limits (Cone-penetrometer)

The relationship between the cone penetration and water content for the three soils is represented in Figure 2. In this Figure, both curves, the best fit by eye and the curve obtained by a polynomial equation of third order, are shown in the region of the plastic limit. In the case of the polynomial equation, the lowest point, which corresponds to the plastic limit, can be estimated from the first derivative of the model. In this way, the plastic limits for the soils studied were 32%, 26% and 26%, for the samples from forest, grass and cultivated soil, respectively. It is important to note that, for the first soil only, three readings (marked as asterisk in Figure 2) were excluded from the regression analysis in order to get a better curve to describe the relation in the region of the lowest penetration. The fitting of the curve by eye (dashed line in Figure 2) does not make an important difference because it moves the trends in a vertical rather than horizontal direction. The results obtained by fitting a curve to the data by eye were 33%, 28% and 28% for the forest, grass and cultivated sites, respectively. The similarity between the results of the two curve fitting methods suggests that while the regression method may provide a less subjective and more reproducible result, the simple action of fitting the curve by eye is valid. In either case strict

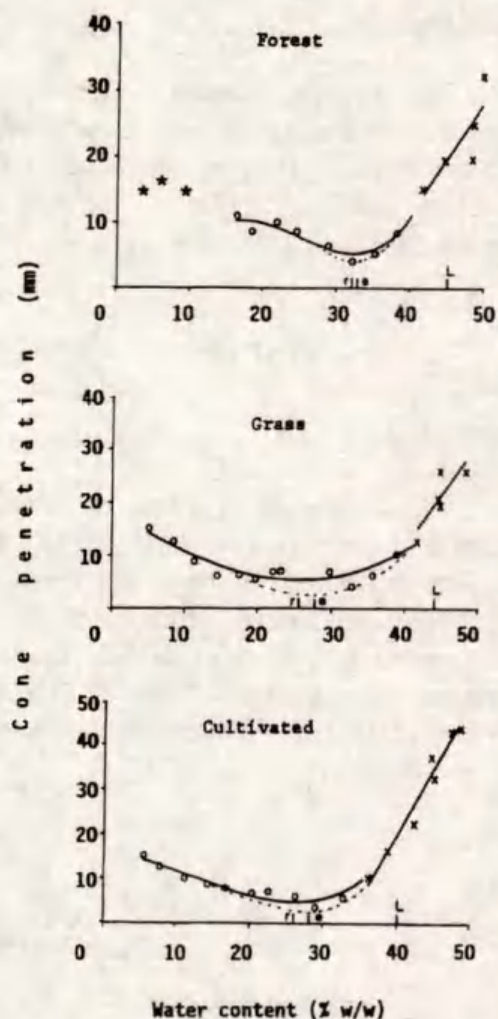


Figure 2. Plastic limits estimated from a curve fitted by regression (r) and by eye (e), and liquid limits of a soil under three vegetation types.

standardization of laboratory methods is required.

The liquid limits were, 45%, 44% and 40% for the forest, grass and cultivated soils, respectively. These values were obtained from the straight line in Figures 2. The criterion to fit that line consisted of ensuring that there

were at least two points below and two points above of 20 mm of penetration.

Plastic limit (Casagrande test)

In accordance with the Casagrande test, the plastic limits for the three soils were 32%, 31% and 33% for the forest, grass and cultivated soils, respectively.

Linear shrinkage

There were only small differences in linear shrinkage in the three soils studied. The respective values for forest, grass and cultivated soil were 9.6%, 9.3% and 8.7%. Therefore, the linear shrinkage, reported to the nearest integer, was 9% in grass and cultivated soils, while the value in forest soil was 10%.

Organic matter

The results of the organic matter (OM) content were, 5.4, 4.6 and 3.4 % , for the, forest, grass and cultivated soils, respectively. The difference between the lowest and the highest OM (organic matter) percentage is only 2 and it seems to affect considerably other soil properties.

DISCUSSION

In general the data showed that the cultivated and grass soils have similar physical properties, while the forest soil has characteristics considerably different in relation to the other soils. The nature and amount of organic matter is likely to be the cause of variations in physical properties. This is interesting because forest soils normally have a

high organic matter content, so this will effect the result obtained from laboratory methods which, in general, have been devised for agricultural soils, with moderate or low levels of organic matter.

The low compactibility of the forest soil could be, mainly, attributed to the organic matter and its effect on aggregate stability. In fact, compactibility is sensitive to even quite small changes in amount of organic matter content (Soane,1990). It has been observed that an increase in organic matter may reduce compactibility by increasing resistance to deformation and/or by increasing elasticity . Another mechanism by which organic matter influences the ability of soil to resist compaction is the dilution effect. This effect, is attributable to both lower particle density and greater looseness of packing (Soane, 1990). Ball *et al.*, (1989) found that, in samples of a Gleysol and a Cambisol under tillage, MDBD, estimated by the Bruce compaction test, decreased with increasing organic matter ($MDBD=2.07-0.102 \text{ OM}$; $r^2=0.93$). The results found here agree with this relation except that the parameters of the model, both the intercept and the slope, are different, probably due to the type of soil and the management involved. The organic matter content was also reflected in a higher water content at the MDBD as shown in Figure 1.

Like other variables, aggregate stability was strongly associated with organic matter. The wide difference in SI and MWD observed between the forest soil and the other soils could be also explained by different arrangement of the organic matter in the soil matrix (Aringhieri and Sequi, 1978). The results found here agree with those of Chaney and Swift (1984), who found high correlation

between MWD and OM, and stated a linear relationship ($MWD=26.8 + 23.2 OM$; $r^2=0.79$) between these variables (Soane, 1990). In accordance with the model of these authors the estimated MWD, in mm, for the soils are 1.52, 1.33, and 1.06; which are, except in cultivated soil, similar to the values obtained. A very important aspect is that in the study area the grass and cultivated soils are subjected to ploughing (every 7-10 years in the case of the grass and annually in the cultivated soil), while the forest soil has not been disturbed in many years. The latter situation may permit the formation of strong aggregates. Grieve (1980) reported higher aggregate stability in a grassland than in a forest. Indeed, it has been found that the stability of aggregates is higher under grass than in forest, because of the fine root distribution and a high organic matter in the topsoil (Brady, 1984).

The highest liquid and plastic limits were associated with the highest organic matter content, which is in agreement with the observations of Archer (1975), cited in Campbell (1991). According to Archer, the difference between liquid and plastic limits (plasticity index) is not correlated with organic matter. This is consistent with the results obtained here. The values of the plasticity index are 13%, 18% and 14% for the forest, grass and cultivated soils, respectively. In a general way, the results indicate that the more organic matter the higher the plastic or liquid limits. A possible explanation is that the hydration of the organic matter in a soil must be fairly complete before water is available for film formation on the soil particles (Campbell, 1991). It is also important to note that the quantity of water added subsequently, until the liquid limit is reached is not changed and so the

plasticity index is unaffected (Baver *et al.*, 1972).

The plastic limit obtained by the Casagrande test did not vary with OM in the same way as the cone penetrometer plastic limit. The most likely explanation seems to be the subjective procedure involved in the test. The cone penetrometer plastic limit has also been shown to be more clearly related to some soil mechanical properties than has the Casagrande plastic limit (Campbell *et al.*, 1980).

The similar magnitude in linear shrinkage results may be explained as a dominating effect of the amount and type of clay which are likely to be similar at each site. This reinforces that the sampled sites covered the same type of soil, although its vegetation was different. The particle size distribution for this Gleysol (36, 40 and 27% ; for sand, silt and clay, respectively) was determined by Dickson and Ritchie (1993) who estimated a value of 9% of linear shrinkage.

CONCLUSIONS

-The small differences in organic matter content, over a range of just 2 % w/w for soils under three types of vegetation, affected considerably other soil properties, mainly compactibility, aggregate stability and plastic limit. The forest soil had more organic matter and therefore had a greater resistance to compaction than that of the grass or cultivated soil. This difference is likely to have occurred due to an increase in the aggregate stability and plastic limit of the forest soil.

-In spite of the fact that the soils had different organic matter contents, the cone penetrometer method, for determining liquid and plastic limits, gave consistent results. Determination of the minimum of the cone penetration / water content relation from the first derivate of a fitted curve could be used to define plastic limit, but the accuracy of individual penetration readings will affect such a method.

-The wet sieving method, using the machine built at the SCAE, was sensitive to the differences in organic matter and soil management of the three soils.

-The Casagrande method for determining plastic limit was not sensitive to the differences in soil organic matter content.

AKNOWLEDGEMENTS

The laboratory methods of this work were carried out during a visit to the SCAE. The first author thanks Donald J. Campbell for accepting him as a visitor and for his critical comments during the work, Edward A. G. Robertson for advising him in the laboratory methods, and J. Kenneth Henshall for his help with the regression procedure.

REFERENCES

- ARINGHERI, R., and P. SEQUI. 1978. The arrangement of organic matter content in a soil Crumb. pp 145-155. *In*: W. W. Emerson, R. D. Bond, and A. R. Dexter (eds.) *Modification of soil structure*. John Wiley and Sons, Great Britain.
- BAVER, L. D., W. H. GARDNER, and W. R. GARDNER. 1972. *Soil physics*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- BALL, B. C., R. W. LANG, M. F. O'SULLIVAN, and M. F. FRANKLIN. 1989. Cultivation and nitrogen requirements for continuous winter barley on a gleysol and a cambisol. *Soil Tillage Res.* 13: 333-352.
- BICKERTON, D. C. 1988. Measurement of soil aggregate stability by wet sieving with results from tillage experiments. *Dep. Note 12*, Scott. Centre Agric. Engng, Penicuik.
- BRADY, N. C. 1984. *The nature and properties of soils*. MacMillan, New York, USA.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. 1975. *Methods of test for soils for civil engineering purposes*. British Standards 1377. British Standards Institution, London, England.
- BRUCE, R. R. 1955. An instrument for the determination of soil compactability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:253-257
- CAMPBELL, D. J. 1975. Liquid limit determination of arable topsoils using a drop-cone penetrometer. *J. Soil Sci.* 26:234-240
- CAMPBELL, D. J. 1976. Plastic limit determination using a drop-cone penetrometer. *J. Soil Sci.* 27:295-30
- CAMPBELL, D. J. 1991. Liquid and plastic limits. pp. 367-398. *In*: K. A. Smith and C. M. Mullins, (eds.) *Soil Analysis: Physical Methods*. Marcel Dekker, New York, USA.
- CAMPBELL, D. J., SOANE B. D., and HUNTER R. 1978. Standard laboratory methods for measuring soil physical properties at SCAE. *Dep. Note SIN/256*. Scott. Inst. Agric. Engng, Penicuik.
- CAMPBELL, D. J., J. V. STAFFORD and P. S. BLACKWELL. 1980. The plastic limit, as determined by the cone-drop test, in relation to the mechanical behaviour of soil. *J. Soil Sci.* 31:11-24.
- CHANEY, K. and SWIFT, R. S. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *J. Soil Sci.* 35:223-230.
- DICKSON, J. W., and RITCHIE R. M. 1993. Soil and crop responses to zero, reduced ground pressure and conventional traffic systems in an arable rotation on a clay loam, 1991. *Dep. Note 54*, Scott Centre agric. Engng, Penicuik
- EDWARDS, W. M. 1991. Soil structure: processes and management. *In*: R. Lal and F. J. Pierce (Eds.) *Soil management for sustainability*. Soil and water conservation society. Ankeny, Iowa. pp. 7-14.
- GRIEVE, I. C. 1980. Some contrasts in soil development between grassland and deciduous woodland sites. *J. Soil Sci.* 31:137-145.
- HILLEL, D. 1982. *Introduction to soil physics*. Academic Press, New York, USA.
- KEMPER, W. D. 1965. Aggregate stability. pp. 511-511. *In*: C. A. Black (ed), *Methods of soil analysis*. Part 1. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- ODELL, R. T., T. H. THORNBURN, and L. J. MCKENZIE. 1960. Relationships of Atterberg limits to some other properties of Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:297-300.
- SOANE, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactability. A review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.* 16: 179-201
- VAN BAVEL, C. H. M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14:20-23
- WALKLEY, A., and BLACK, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.

CLASIFICACION DE TIERRAS PARA EL MANEJO DEL SUELO Y AGUA DE LA SUBCUENCA DE CUZALAPA, SIERRA DE MANANTLAN, JAL.

Land Classification for Soil and Water Management in Cuzalapa Watershed, Sierra de Manantlan, Jal.

J.J. Sandoval L. y Luis M. Martínez R.

Universidad de Guadalajara, Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad, Valentín Velasco No. 253, El Grullo, Jal.

Palabras clave: Clasificación de tierras, Taxonomía de suelos.

Index words: Land classification, Soil taxonomy.

RESUMEN

La subcuenca de Cuzalapa se localiza en la parte sur del estado de Jalisco y se considera como una de las más importantes de la Reserva de Biosfera Sierra de Manantlán. En ésta se ubica el mayor asentamiento humano, la mayor superficie agrícola, además de una gran riqueza de recursos hídricos. Por su fisiografía y variabilidad topográfica, esta subcuenca es muy susceptible a los procesos erosivos, situación que, aunada a un manejo inadecuado durante muchos años, ha ocasionado la degradación de sus suelos. En este estudio se realizó un levantamiento de suelos para determinar su clasificación taxonómica, así como una

clasificación agrológica de tierras con fines de riego. Se utilizaron fotografías aéreas blanco y negro (escala 1:25000) y se hicieron un total de 19 pozos agrológicos y aproximadamente 20 barrenaciones. Se obtuvieron tres órdenes (Entisoles, Molisoles e Inceptisoles) con ocho series, así como cuatro clases de tierras, de las cuales sólo tres tienen aptitud al riego (2, 3 y 4), la clase 6 quedó como no apta. Las series localizadas fueron: Cuzalapa (Fluventic hapludoll, franco-arenoso, isohipertérmico); La Huerta (Fluventic hapludoll, franco arcilloso, isohipertérmico); Pitahaya (Typic udifluent, franco-arenoso, isohipertérmico); Los Gabiño (Typic udifluent franco-esquelético, isohipertérmico); La Pareja (Typic udifluent franco-arenoso, térmico); La Pintada (Entic haplumbrept, franco-arenoso, isohipertérmico); Las Gardenias (Entic haplumbrept, arenoso-esquelético, isohipertérmico); y Llano de Ortiz (Typic haplumbrept, franco-arenoso, térmico). Las clases de tierras fueron: Clase 2, con pendientes de 1 a 3%; pedregosidad de 3 a 10% (diámetro de 3 a 5 cm); Clase 3, someros (50 a 80 cm), pendientes de 1 a 5%; texturas gruesas

Recibido 7-94.

(arcillas), pedregosidad superficial de 10 a 40% (diámetro de 3 a 10 cm), Clase 4, con pendientes mayores a 10%, erosión laminar, pedregosidad de hasta más de 40% (3 a 10 cm), Clase 6, no apta, con pendientes arriba de 15%, pedregosidad de más de 40% (1 a 10 cm) y rocosidades de 10 a 30% (de 1 a 2 o más metros).

SUMMARY

Cuzalapa watershed is located in the southern area of the state of Jalisco and it is considered as one of the most important watersheds of the Sierra de Manantlan Biosphere Reserve, due to its population number, agricultural land surface and hydraulic resources. Its physiography and slope variability make this watershed very susceptible to soil erosion. The study of this area included the soil taxonomy and irrigated land classification. Black and white aerial photography in a scale of 1:25 000 was used, and observations made on 19 digged pits and 20 drillings. Three orders were identified (Entisoles, Molisoles and Inceptisoles) together with eight series of which only three are apt for irrigation (2, 3, 4); class 6 was considered as non apt for irrigation. The series identified were: Cuzalapa (Fluventic hapludoll, silt loam, isohyperthermic); La Huerta (Fluventic hapludoll, clay loam, isohyperthermic); Pitahaya (Typic udifluent, silt loam, isohyperthermic); Los Gabiño (Typic udifluent, loam gravelly, isohyperthermic); La Pareja (Typic haplumbrept, sand-gravelly, isohyperthermic); and Llano de Ortiz (Typic haplumbrept, silt loam, thermic). The land types found were: Class 2, with slopes of 1-3%; stonyness 3-10% (diameter 3-5 cm); Class 3, shallow (50-80 cm), slopes of 1-5%, coarse textures, clay, stony surface of 10-40% (3-10 cm in diameter); Class 4, slopes of more than 10%, laminar erosion, stony in more than 40%

(1-10 cm), and rockyness of 10-30% (more than 1 m). Class 6, unfit with slopes of more than 15%, 40% stonyness (1-10 cm), and 1-30% rocky (1-2 m).

INTRODUCCION

Localizada en una área de transición biogeográfica, con una gran amplitud altitudinal y variaciones climáticas importantes, la Sierra de Manantlán es representativa de las condiciones ecológicas y del rico patrimonio de las montañas de México.

Es considerada como fuente importante de abastecimiento de agua de la región, utilizada en áreas de riego tan importantes como Casimiro Castillo, Peñitas y Cihuatlán (Jardel, 1992).

Esta riqueza, al igual que otras de esta zona protegida, se ha visto subutilizada, ya que existen antecedentes (Jardel, 1992) que desde el siglo XIX ha existido una explotación irracional de sus recursos naturales, situación que ha originado la desaparición tanto de especies de fauna (caza) como de zonas de bosque (extracción de madera), esto último esencial en la generación de recursos hídricos, así como de cubierta protectora del suelo.

La subcuenca de Cuzalapa como una de las zonas más importantes de esta reserva, por su amplia superficie agrícola (2898.74 ha), de la cual depende el mayor asentamiento humano (Comunidad indígena de Cuzalapa, con 640 familias distribuidas en cuatro localidades principales: Cuzalapa, El Durazno, La Pareja y El Vigía), no ha estado aislada a esta problemática, ya que en lo que respecta a la utilización de los recursos, principalmente suelo y agua, se ha observado un uso intensivo del recurso, pero sin considerar prácticas para

su manejo sostenible y su conservación. Esta situación se acelera con el cambio de uso del suelo, de áreas boscosas a áreas de actividad agropecuaria.

El objetivo principal del estudio fue generar información sobre las características fisicoquímicas de los suelos, así como conocer los principales factores que limitan el desarrollo de la agricultura de riego, a través de la clasificación de tierras con fines de riego, con el fin de implementar prácticas y recomendaciones adecuadas para el uso y manejo eficiente del recurso suelo-agua.

La agricultura es la actividad principal de esta comunidad, la cual se ha visto mermada en los últimos años por los bajos precios de garantía, lo que ha orillado a los campesinos a una agricultura prácticamente de autoconsumo. La agricultura de riego juega un papel muy importante para los campesinos de esta región, ya que en esta comunidad se concentra la mayor superficie con riego en la reserva, con aproximadamente 640 ha, cantidad mayor de la dedicada a temporal (429.16 ha) (Sandoval, 1991). En general, la actividad agrícola está constituida por prácticas tradicionales de cultivo (transmitidas de padres a hijos), con poca o nual práctica de conservación de suelo y agua, situación que en ocasiones llega a ser contraproducente ya que en el ciclo de riego el agua es irrigada libremente, conducida a todas las partes del terreno por pequeños canalillos que va haciendo el productor, lo que genera en ocasiones que el suelo sea erosionado hacia las partes bajas (Martínez y Guevara, 1990).

Otra actividad relevante es la pecuaria, la cual a tenido en los últimos años un avance muy marcado, debido a los altos costos de producción de la actividad agrícola, y ha

desplazado tierras de buen potencial al cultivo de riego y temporal, a tierras con alto índice de erosión.

Descripción del Area.

Esta subcuena se ubica geográficamente al suroeste del estado de Jalisco, en las coordenadas 19°26'40" y 19°36'51" de latitud norte y 104°12'59" y 104°22'49" de longitud oeste. Cuenta con una altitud que oscila entre 550 y 2860 m y una superficie aproximada de 19 100 ha (INEGI, 1988), de la cual 15% (2898.74 ha) se dedica a labores agropecuarias (Sandoval, 1991).

Geomorfológicamente se localiza en la porción sureste de la Reserva de Biosfera, Sierra de Manantlán, ubicada en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur; limita al oeste con el Océano Pacífico y al este y norte influenciada por el Eje Neovolcánico (SPP, 1981). La subcuena de Cuzalapa presenta formas irregulares que varían de lo plano a lo ondulado, las porciones con topografía plana se manifiestan por tener pendientes menores de 3% y abarca 5.8% de la zona agrícola, las zonas con relieve ondulado tienen pendientes de 3 a 10% y ocupan 36.8% del área agrícola; el resto (57.4%) queda para zonas cerriles y lomeríos, con pendientes mayores a 10%. Su geología se ubica en el Cenozoico, dentro del período terciario, se caracteriza por la presencia de rocas ígneas extrusivas ácidas, representadas principalmente por riolita, andesita, toba y brecha volcánica (SPP, 1981).

Esta subcuena es drenada por cuatro arroyos principales: La Paloma, La Sidra, San Antonio y Pitahaya, que al unirse entre sí dan origen al río Cuzalapa, el cual desemboca posteriormente en el río Armería, en el estado

de Colima. A excepción del arroyo Pitahaya, el resto se consideran permanentes.

Existen, además, pequeñas corrientes intermitentes u ojos de agua que desembocan a lo largo de los arroyos arriba mencionados (Guevara y Martínez, 1990).

Se presentan tres tipos de clima, según el sistema Köppen modificado por García (1973): 1) $Aw_2(w)(i')$, localizado en la parte centro-sur, es cálido y con temperaturas mayores a 22 °C, siendo la del mes más frío mayor de 18 °C; 2) $Aw_2(w)(i')g$, se presenta al oeste de la subcuenca y manifiesta las mismas características del anterior, sólo que éste manifiesta el mes más caliente en mayo; y 3) $(A)Ca(w_2(w)(i')g$, se presenta en una pequeña porción del macizo montañoso noroeste y en la parte más alta de la subcuenca, corresponde al semicálido de los templados, con temperatura media anual mayor de 18 °C y temperatura del mes más frío de 18°C, con poca oscilación térmica, el mes más caliente corresponde a mayo, el más húmedo de los subhúmedos. La precipitación media anual oscila entre 1500 y 1700 mm, mientras que la temperatura media se ubica entre 18 y 24 °C (Martínez *et al.*, 1991).

La vegetación existente en su mayoría es encino caducifolio y perenifolio en zona cerril, además de pequeños manchones de Bosque mesófilo de montaña y Bosque tropical caducifolio. En la zona centro y a lo largo de lecho de río se ubican principalmente áreas dedicadas a agricultura y en pie de monte y pequeñas zonas de montaña el matorral subtropical. A lo largo de los arroyos se localiza el bosque de galería (Ramos, 1987; Vázquez *et al.*, 1990).

Metodología

Este trabajo estuvo apoyado con cartografía de INEGI (escala 1: 50 000) y por fotografías aéreas blanco y negro (escala 1: 25 000) de 1971. La ubicación de las unidades de fotointerpretación se estableció con base en características físicas, tales como el relieve, geomorfología, modelo de drenaje y tonalidades fotográficas; se distinguió un total de ocho unidades (series).

Después de la zonificación, se realizó la clasificación taxonómica de suelos (Soil Survey Staff, 1975), mediante el estudio de 19 pozos agrológicos; se utilizó el manual de descripción de perfiles de Cuanalo (1981) y aproximadamente 20 barrenaciones, dichas observaciones se ubicaron en lo largo de la zona agropecuaria.

Los análisis practicados a las muestras de suelos se realizaron en el laboratorio de Agrología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), el cual trabaja con los principios y la metodología basada en el manual 60 del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Richards *et al.*, 1985), se determinó: color en seco y húmedo (Munsell, 1975); densidad aparente y real; textura (Bouyoucos, 1963); pH (método electrométrico); capacidad de intercambio catiónico (método del acetato de amonio, Chapman, 1976); materia Orgánica (Walkley, 1947); calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiables (Chapman, 1976) y conductividad eléctrica y pH en pasta de saturación (Richards *et al.*, 1985).

Para la clasificación de tierras con aptitud al riego (Bureau of Reclamation, 1953), se tomó como patrón la zonificación parcelaria; se recabaron en campo las

Cuadro 1. Datos climatológicos, estación Cuautitlán.

Mes	Temperatura (23 años) °C	Precipitación (30 años) mm
Enero	21.6	23.2
Febrero	22.2	8.9
Marzo	23.5	5.2
Abril	25.5	3.5
Mayo	27.0	19.2
Junio	27.2	227.3
Julio	26.2	374.1
Agosto	25.7	345.4
Septiembre	25.6	418.9
Octubre	25.7	227.5
Noviembre	24.6	70.7
Diciembre	22.7	30.9
Anual	24.8 ²	1754.8

Fuente: Martínez *et al.*, 1990.

2) Media.

características físicas más importantes de cada una de las parcelas como: profundidad del suelo, topografía, problemas de inundación, erosión, escasez de agua, textura, pedregosidad superficial y rocosidad, apoyadas con las características determinadas para la clasificación taxonómica. En lo que respecta al comportamiento climático (régimen de humedad y temperatura), se utilizaron los datos de la estación climatológica de Cuautitlán, localizada a 7 km en línea recta de esta comunidad (Cuadro 1).

RESULTADOS

Taxonomía de suelos

Dentro de la zona agropecuaria, se identificaron tres órdenes: Molisoles, Entisoles e Inceptisoles. Estos abarcaron ocho series (Figura 1), las cuales se describen a continuación.

Molisoles

Serie Cuzalapa. Se localiza en la parte central y ocupa una superficie de 222.68 ha; presenta evidencias de terraza fluvial baja, con pendiente de 1 a 5%. Son suelos de formación reciente, originados por arrastres fluviales y depositados en el lugar debido principalmente a las condiciones topográficas, por lo que se les consideró de origen fluvial. Estos suelos son poco profundos (< de 100 cm), con horizontes superficiales de color 10 YR 3/3.5 (café oscuro) y texturas franco-arenosas, con ligera pedregosidad superficial (3 a 10%) (3 a 5 cm de diámetro). El uso es agricultura de riego, dedicados principalmente al cultivo de maíz. Taxonómicamente se clasificaron como Fluventic hapludoll, franco arenoso, isohipertérmico, serie Cuzalapa (Cuadro 2).

Serie La Huerta. Esta porción se ubica al suroeste de la subcuenca, tiene una superficie de 491.94 ha, presenta características de terraza fluvial alta combinada con pie de monte, con pendientes semionduladas (2 a 10%). Son suelos jóvenes, poco desarrollados, profundos (> de 100 cm), de color de 10 YR 5.5/3 (café claro) a 10 YR 3/3.5 (café oscuro) en la parte superficial y texturas franco a franco-arenosas. El uso es agricultura de temporal, donde predomina el cultivo de maíz, aparte de otros usos menores como frutales y pequeñas zonas de agostadero. Su clasificación taxonómica es Fluventic hapludoll, franco-arcilloso, isohipertérmico, serie La Huerta (Cuadro 2).

Estas dos series se separaron por la diferencia en sus características texturales, ya que la serie Cuzalapa, se localiza en las partes bajas, donde se presentan fenómenos de depositación fluvial, principalmente arenas,

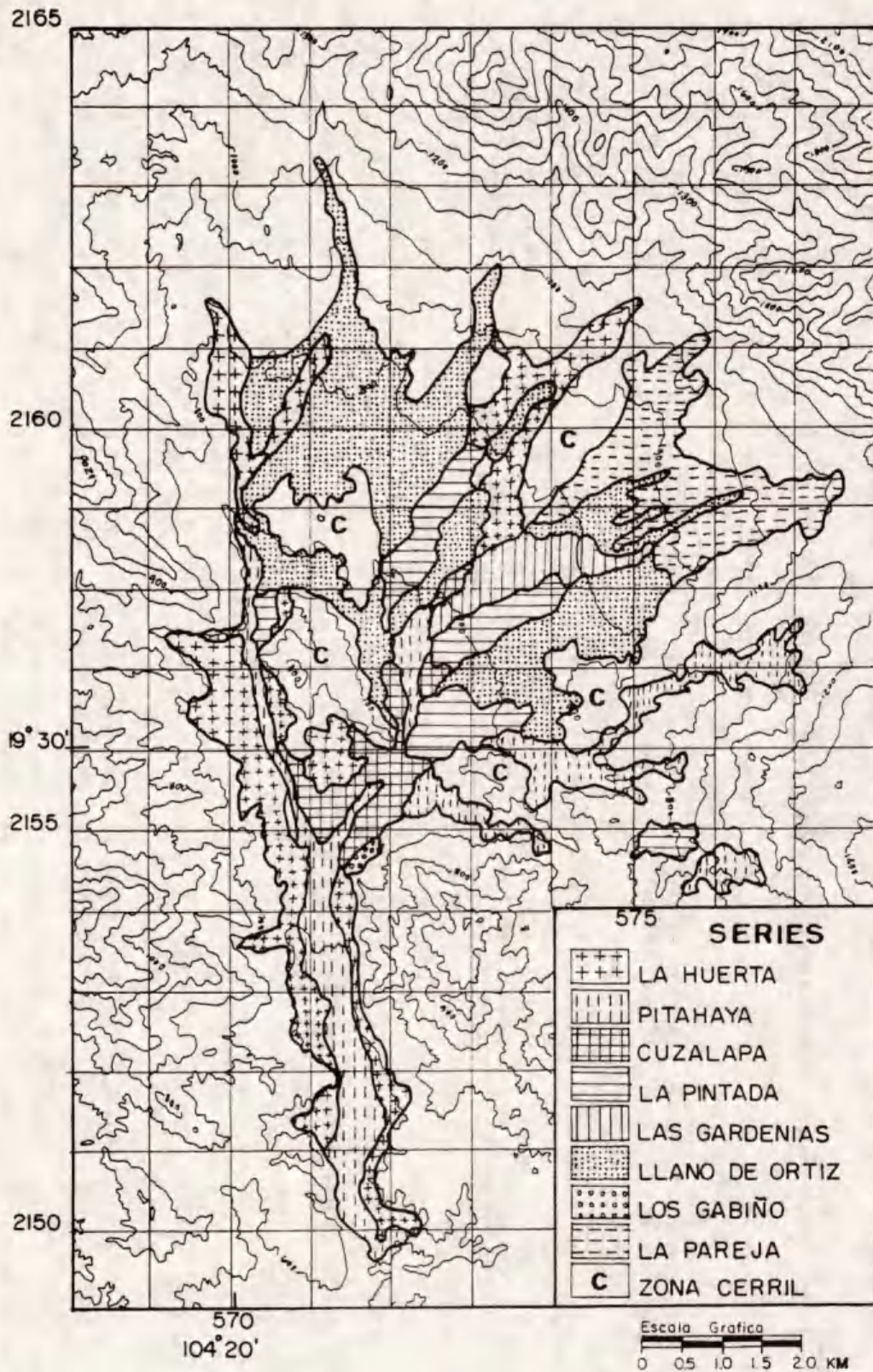


Figura 1. Clasificación taxonómica de suelos.

Cuadro 2. Descripción fisicoquímica de los perfiles de las series del orden Molisol.

Serie	H	Prof. cm	Color		Textura			Estructura	Densidad aparente g/cm ³	Materia orgánica %	pH Agua rel 2:1	PSB %	CIC meq/100 g	Iones solubles			
			Húmedo	Seco	A	L	R							Ca	Mg	Na	
Cuzalapa	Ap	0-20	10YR3/3.5	10YR5/3	64-11-25	Gran.fina	1.24	2.1	5.9	95.9	19.6	2.0	1.0	0.4			
	A12	20-42	10YR3/4	10YR3/5	52-15-23	Gran.fina	1.24	1.9	5.6	99.4	21.0	1.6	0.8	0.2			
	Cl	42-70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
La Huerta	Ap	0-24	10YR3/3	10YR5.5/3	58-21-21	Gran-gruesa	1.20	2.0	5.4	99.4	20.4	1.4	0.6	0.2			
	Cl	24-50	10YR3/3	10YR5/3	58-21-21	Gran-gruesa	1.21	0.8	5.9	97.9	18.2	2.0	1.2	0.6			
	C2	50-92	10YR3/2.5	10YR5/3	58-21-21	Gran.mediana	1.43	1.2	5.8	54.7	23.0	2.6	2.0	0.2			
C3	92-130x	10YR4/2	10YR4/2	57-19-24	Gran.fina	1.24	0.9	5.8	53.7	22.0	2.0	2.0	0.5				

H = Horizonte; A = Arcilla; L = Limo; R = Arena; PSB: Porcentaje de saturación de bases; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 3. Descripción fisicoquímica de los perfiles de las series del orden Entisol.

Serie	H	Prof. cm	Color		Textura			Estructura	Densidad aparente g/cm ³	Materia orgánica %	pH Agua rel 2:1	PSB %	CIC meq/100 g	Iones solubles			
			Húmedo	Seco	A	L	R							Ca	Mg	Na	
La Pintada	Ap	0-30	10YR3/2	10YR3/3	69-05-26	Granular fina	1.07	1.07	2.8	5.7	36.7	57.2	1.6	0.6	0.4		
	C1	30-160x	10YR3/3	10YR3/3	64-05-31	-	1.00	1.00	6.5	5.6	34.1	65.0	0.6	0.6	0.2		
Las Gardénias	Ap	0-15	10YR2/3	10YR3/3	71-05-24	Bloques subangulares	1.07	1.07	2.9	5.7	36.8	32.2	1.2	1.6	0.2		
	A12	15-80	10YR2/2	10YR2/2	67-07-26	Bloques subangulares	1.00	1.00	6.5	5.6	34.1	37.0	1.2	1.8	0.4		
Llano de Ortiz	Ap	0-14	10YR3/3	10YR3/4	49-24-22	Bloques suba.grandes	1.40	1.40	3.3	5.5	22.8	35.2	0.8	0.6	0.4		
	A ₁₂	14-30	5YR3/3	10YR3/3	55-25-20	Bloques suba.medios	1.16	1.16	1.7	5.4	27.3	28.0	0.8	0.4	0.2		
	(B) ₂	30-65	2.5YR3/6	2.5YR4/6	42-39-19	Bloques suba.medios	1.07	1.07	0.5	5.4	99.0	18.2	0.8	0.6	0.2		
	BC	65-100	2.5YR3/6	2.5YR4/7	32-49-19	Bloques suba.medios	1.05	1.05	0.1	5.3	69.2	24.4	0.8	0.8	0.2		
C	100-130x	5YR4/7	10YR3/3	-	Granular fina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

H = Horizonte; A = Arcilla; L = Limo; R = Arena; PSB: Porcentaje de saturación de bases; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

mientras que la otra serie la Huerta se localiza cercana al piedemonte, y se relaciona con las características texturales de tendencia arcillosa.

Entisoles

Serie Pitahaya. Se localiza al sureste del poblado de Cuzalapa y ocupa una superficie de 331.62 ha, se ubica en un valle que presenta un paisaje de planicie aluvial (lecho de río), de topografía plana y ligeras ondulaciones (1 a 3%). Son suelos de formación reciente, desarrollados a partir de rocas erosionadas y transportados por las corrientes fluviales hasta ser depositados en el área que actualmente ocupan. Estos suelos son profundos (> 100 cm), presentan características físico-químicas y morfológicas homogéneas, texturas franco a franco-arenoso; el color de estos suelos es de 10 YR 5/3 (café) a 10 YR 3.5/3 (café grisáceo). El uso actual es agricultura (riego y temporal), predomina el cultivo del maíz asociado con frijol, en una mínima proporción se encuentran frutales. Su clasificación taxonómica es Tipic udifluent, franco-arenoso, isohipertérmico, serie Pitahaya (Cuadro 3).

Serie Los Gabiño. Se encuentra a las orillas del camino a las comunidades Cuzalapa-La Rosa, en la parte sureste; es la más pequeña de las series con 96.87 ha. Su origen está influenciado tanto por características aluviales como por características coluviales; en las primeras, se presentan evidencias de depositación fluvial (cantos redondeados de diámetro de 5 a 15 cm) a lo largo del perfil, mientras que en las coluviales la característica distintiva son las piedras angulares (diámetro 3 a 5 cm) localizadas aproximadamente a 65 cm de profundidad, por lo que su génesis probable es coluvio-aluvial. Presenta un

microrelieve ondulado con pendiente de 3 a 5% con dirección oriente-poniente. Son suelos someros (65 cm), de color de 10YR 5/3 (café) a 10 YR 3.5/3 (café grisáceo), sus texturas son franco-arenosas y franco-esqueléticas (gran cantidad de grava en el perfil). Su uso es agrícola (maíz) y en el cultivo se observa un desarrollo raquítico. Su clasificación taxonómica es Tipic udifluent, franco-esquelético isohipertérmico, serie Los Gabiño (Cuadro 3).

Serie La Pareja. Se ubica al noroeste de la subcuenca (ranchería La Pareja), con una superficie de 288.95 ha. Estos suelos presentan una topografía con pendientes que varían de 3 a 10%, su origen se debe a los arrastres fluviales y por derrumbes de lomeríos cercanos; con base en esto se les considera como materiales aluvio-coluviales. Son suelos profundos (> de 100 cm), de color 10 YR 5/3 (café) y 10 YR 4/6 (café amarillento); su textura es franco-arenosa. El uso del suelo es cultivo de temporal y en menor escala cultivo de riego, predomina la siembra de maíz y pastos (guinea). Su clasificación taxonómica es Tipic udifluent, franco-arenoso, térmico, serie La Pareja (Cuadro 3).

Una de las características que diferenció a estas tres series fue la textura: en la serie Pitahaya fue arenosa, en la serie Los Gabiño fue esquelética (gravosa), mientras que en La Pareja fue franca.

Inceptisoles

Serie La Pintada. Se localiza en la parte central y oeste de la subcuenca, con una superficie de 340.48 ha; esta serie presenta una topografía que va de lo plano a lo

ondulado, con pendientes menores a 3%. Los suelos de este grupo tienen un grado de desarrollo inmaduro, originados por la erosión y depositación de los materiales de las partes altas circundantes de formación coluvio-aluvial. Son suelos profundos (> 100 cm) con texturas de franco a franco-arenosas, de color de 10 YR 5/3 (café) a 10 YR 3/3.5 (café oscuro). Su uso actual es agricultura de riego (maíz) y en menor escala agricultura de temporal (maíz y pastos). Su clasificación taxonómica es Entic haplumbrept, franco-arenoso, isohipertérmico, serie La Pintada (Cuadro 4).

Serie Las Gardenias. Se localiza en la parte este de la subcuenca, con una superficie de 144.15 ha. Manifiesta una topografía que va de lo plano a lo ondulado, con pendientes que oscilan de 1 a 5%. Tiene un grado de desarrollo joven y sus génesis se basa en la degradación que sufrieron los materiales en las partes altas y que, al ser arrastrados por agentes erosivos (principalmente agua), fueron depositados en las partes bajas, considerados de formación coluvio-aluvial. Son suelos con profundidad de 50 a 80 cm, con texturas de franco a franco-arenosas y color de 10 YR 5/3 (café) a 10 YR3/3.5 (café oscuro). Son suelos dedicados a la siembra de pastizal. Su clasificación taxonómica es Entic haplumbrept, franco-arenoso-esquelético, isohipertérmico, serie Las Gardenias (Cuadro 4).

Serie Llano de Ortiz. Se distribuye en la parte noroeste de la zona agropecuaria, presenta la mayor superficie de todas las series con 982.05 ha. Tiene pendientes que oscilan entre 1-5%. Su formación ha sido producto del intemperismo del material de origen, de ahí que su modo de formación sea *in situ*. Son por lo general profundos (> 100 cm), de color

10 YR3/4 (café-rojizo-oscuro) a 5 YR 4/7 (rojo amarillento); textura franco a franco-arcillosas. El uso en la mayoría del área es la siembra de pastizal y en pequeñas zonas el cultivo de maíz, el pasto es utilizado con fines de forraje, sembrándose para tal fin el pasto Guinea (*Panicum maximum*). Su clasificación taxonómica es Tipic haplumbrept, franco-arenoso, térmico, serie Llano de Ortiz (Cuadro 4).

La serie La Pintada se distinguió por tener características contrastantes, ya que presentando un alto porcentaje de materia orgánica y su saturación de bases era baja, por lo que en un momento se pensó ubicar dentro de el orden Molisol, pero después del análisis se le clasificó como Inceptisol.

Estas tres series se separaron hasta el nivel de fase, utilizando los factores de textura y clima: en el factor textura, las series La Pintada y Llano de Ortiz se comportaron en forma similar, no así en el factor clima, el cual fue isohipertérmico para la serie La Pintada y térmico para la serie Llano de Ortiz. Para la serie Las Gardenias, la característica distintiva con respecto a las dos series antes mencionadas fue el factor textura, ésta fue franco-arenoso-esquelética.

Clasificación agrícola de suelos con fines de riego

Debido a las condiciones actuales de la zona de estudio, se localizaron un total de cuatro clases de tierra (Bureau of Reclamation, 1953); de éstas, tres son aptas para riego (2, 3 y 4) y una, la 6, no apta para el mismo (Figura 2). Las características principales se describen a continuación:

Cuadro 4. Descripción fisicoquímica de los perfiles de las series del orden Inceptisol.

Serie	H	Prof. cm	Color		Seco	Textura			Estructura	Densidad aparente g/cm ³	Materia orgánica %	pH Agua rel 2:1	PSB %	CIC meq/100 g	Iones solubles		
			Húmedo			A	L	R							Ca	Mg	Na
Pitahaya	Ap	0-24	10YR3.5/3		10YR5/3	68-06-26		Bloques subangulares	1.41	1.6	5.3	91.1	20.0	0.1	0.6	0.4	
	C1	24-50	10YR3.5/3		10YR5/4	72-06-22		Bloques subangulares	1.39	0.9	6.2	92.7	22.0	0.1	0.4	0.2	
	C2	50-92	10YR2.5/2		10YR5/4	73-05-22		Bloques subangulares	1.42	0.7	6.2	57.8	15.8	0.8	0.2	0.6	
	C3	92-130x	10YR2.5/2		10YR4/3	62-10-28		Bloques subangulares	1.32	1.1	6.4	85.8	21.4	0.1	0.8	0.2	
Los Gabiño	Ap	0-15	10YR3/2		10YR4.5/2	66-15-19		Granular fina	1.18	3.0	5.9	99.0	19.4	1.6	1.4	0.2	
	A12	15-35	10YR3/2		10YR4.5/3	79-09-12		Granular fina	1.17	2.4	6.0	41.5	23.8	1.4	1.6	0.2	
	C1	35-65	10YR3/3		10YR3/3												
La Pareja	Ap	0-20	7.5YR3/2		10YR4/4	63-11-23		Bloques suba. finos	0.99	2.4	5.5	18.0	43.4	0.2	1.8	0.2	
	A12	20-40	7.5YR3/2		10YR4/4	59-19-22		Bloques suba. finos	1.00	1.3	5.6	32.8	48.4	0.1	2.0	0.2	
	C	40-80	7.5YR3/3		10YR3/3	61-17-22		Bloques suba. finos	1.00	1.7	5.8	32.6	41.2	0.2	0.6	0.2	
	C1	80-130	7.5YR3/2		10YR4/6	61-15-24		Bloques suba. finos	0.98	1.3	5.8	22.1	44.8	0.4	0.4	0.2	
	C2	130-150x	7.5YR3/4		10YR3/4	59-19-22		Bloques suba. finos	0.93	1.0	5.7	16.1	48.4	0.4	0.8	0.2	

H = Horizonte; A = Arcilla; L = Limo; R = Arena; PSB: Porcentaje de saturación de bases; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

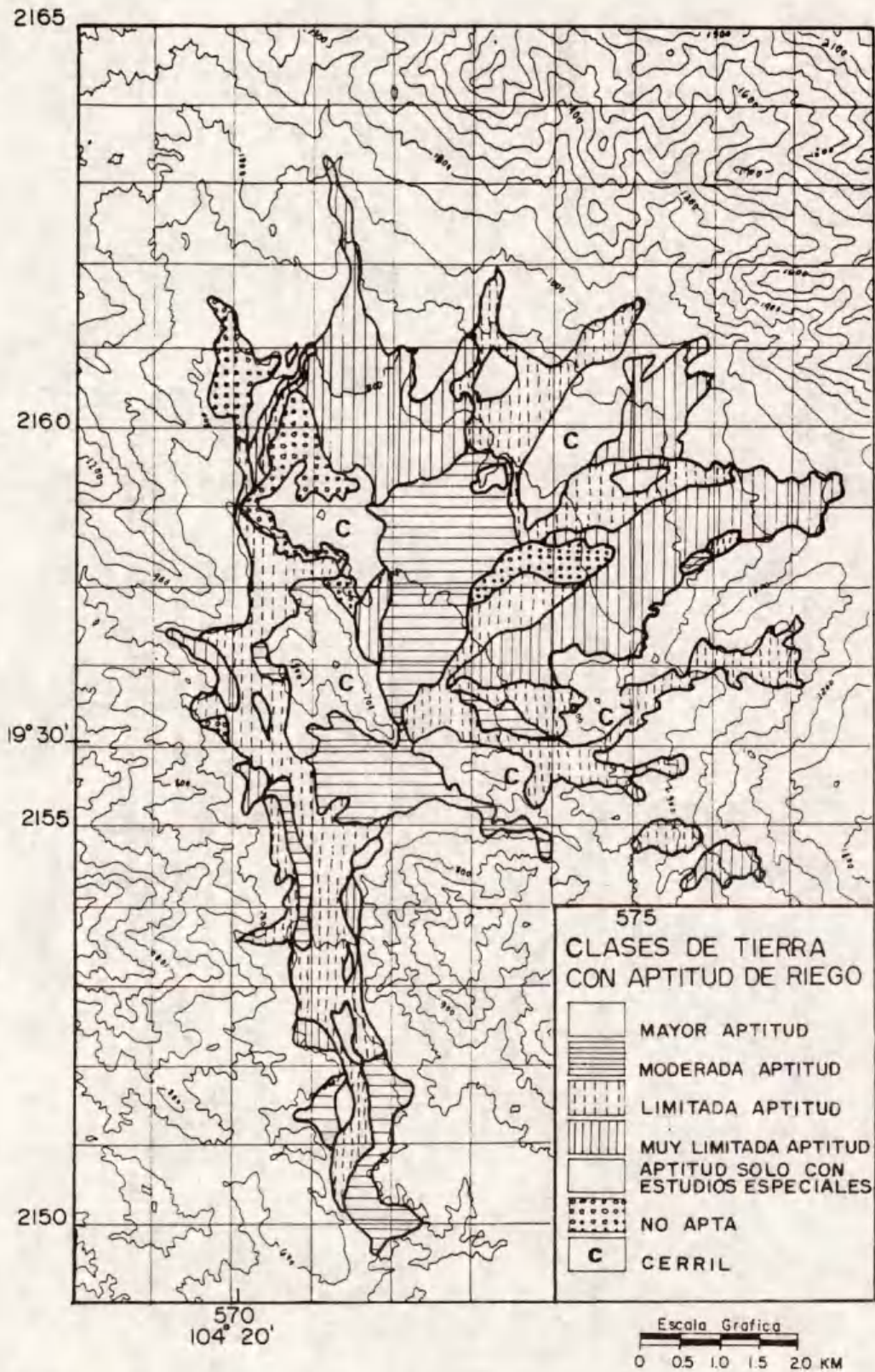


Figura 2. Clasificación de tierras con aptitud al riego.

Clase 2

Las tierras pertenecientes a esta clase se ubicaron en la parte central de la subcuenca, al norte del poblado de Cuzalapa y abarcaron una superficie de 605.76 ha, caracterizándose por ser suelos profundos (> 100 cm), con una topografía de 1 a 3% susceptible a inundarse con crecientes extraordinarias, principalmente en las áreas que se encuentran en los márgenes de los arroyos, presentan erosión remontante en márgenes del río, texturas franco-arcillosas a franco-arenosas, con una pedregosidad superficial que varía entre 3 y 10 % (3 a 5 cm de diámetro) (Cuadro 5).

Clase 3

Estas tierras ocupan una superficie de 1517.92, se localizan básicamente en zonas de lecho de río o cercanas a éste, en la parte sur y oeste de la subcuenca. Esta clase manifiesta poca profundidad (50 a 80 cm), con topografía que va de lo plano a lo ondulado y con pendientes que oscilan de 1 a 10%, se manifiestan por tener inundaciones frecuentes sobre aquellas zonas localizadas entre dos o más arroyos, presentan erosión remontante, en cuanto a la necesidad de agua para riego, no representa tanta dificultad para conseguirla, excepto en aquellas zonas que presentan pendientes más pronunciadas (10%), pero sólo en pequeños periodos (primavera), se caracterizan por tener texturas gruesas con un alto contenido de pedregosidad superficial que va de 10 a 40% (3 a 10 cm de diámetro) (Cuadro 5).

Clase 4

Se localiza en la zona norte y noreste de la subcuenca, en pie de monte, tiene una

superficie de 632.12 ha, son suelos profundos (> 100 cm), con pendientes mayores a 10%, presentan erosión laminar, la escasez de agua es muy notoria en temporada de secas (marzo-mayo); su textura es extremosa, arenosa en zonas próximas a los arroyos, arcillosa en las partes altas; posee una pedregosidad de más de 40% (3 a 10 cm de diámetro) y rocosidades de hasta 70% (0.5 a 2 m de diámetro) (Cuadro 5).

Clase 6.

Ocupan una superficie de 142.22 ha, se localizan al norte y oeste de la subcuenca, en pequeños manchones, en lomeríos con pendientes >20%, dedicadas a cultivo de coamil en su mayoría; son tierras no aptas para el riego debido a las condiciones que prevalecen en ellas, como son las pendientes mayores a 10%, presenta erosión laminar, donde se observa la pérdida total del horizonte superficial; manifiesta texturas arcillosas, pedregosidad superior a 40% (1 a 10 cm de diámetro), así como rocosidad de 10 a 30% (1 a 2 m de diámetro) (Cuadro 5).

DISCUSION

Dentro de este rubro se analiza y discute la interacción entre las clases de tierras con los tipos de suelos. Dada la situación actual y basada ésta en las características fisicoquímicas resultantes, se puede observar que la clase dominante fue la 3, con un total de 1517.92 ha, la cual se presentó en la mayoría de las series, pero básicamente en el Llano de Ortiz y La Huerta.

Los problemas presentes en estas tierras son la pendiente y la erosión laminar, así como una baja fertilidad en los suelos.

Cuadro 5. Clases y factores limitantes más severos para el riego.

Clase	Superficie ha	%	Factor limitante presente	Lugar
2	605.76	21	Erosión remontante Pedregosidad 3-10 % 3-5 cm Limitante agua para riego	Cerca de los arroyos La Paloma y San Antonio SW de Cuzalapa y cerca del arroyo La Paloma NW de la subcuenca
3	1517.92	52	Profundidad 50-80 cm Topografía 3-5%	Suelos al SW del arroyo Cuzalapa Zonas cerca del arroyo Pitahaya
4	632.12	22	Textura arcillosa Erosión laminar Rociedad > 30 % 0.5-2 m	En Llano de Ortiz y Las Gardenias En los sitios anteriores En La Pareja Llano de Ortiz
6*	142.22	5	Topografía > 10% Rociedad 10-30 % 1-2 m	Sitios de Llano de Ortiz La Pareja y Las Gardenias

*No apta para riego.

Consecuencia de un constante deterioro, ya que han estado en cambios continuos de uso, según lo manifiestan los campesinos al señalar que fue una zona cubierta de bosque, que al cambio de uso y al avance de la agricultura de ladera se fue degradando en forma paulatina, hasta lo que es actualmente, tierras de bajo índice productivo dedicadas a cultivos de subsistencia y, en gran medida, a agostaderos.

Aunque no se realizaron análisis sobre el problema de fijación de fósforo, en el cultivo de maíz se observan evidencias de este problema para la serie Llano de Ortiz, el cual no alcanza sus condiciones óptimas, y presenta un achaparramiento, así como inhibición de la fructificación, situaciones que se reflejan en una baja producción.

Las alternativas de mejoramiento deben analizarse dentro del contexto de una mermada situación socioeconómica por la que

pasan actualmente las comunidades de esta subcuenca, aunada a las condiciones de acidez que prevalecen en el suelo. Quizás una de las soluciones inmediatas sea la implementación y el uso de abonos verdes (leguminosas de la región), complementadas con prácticas de encalado.

Otro factor que limita el desarrollo en esta zona es la pendiente, la cual es un factor de difícil corrección, pero que sí puede ser disminuido con prácticas adecuadas de manejo, como pueden ser surcos en contorno. Dada la presencia de rocosidad, es recomendable la instalación de barreras muertas, con el fin de disminuir la erosión del suelo, así como la recuperación del mismo.

Con superficies relativamente similares, resultaron la Clase 2 y 4 con 605.76 ha (21%) y 632.12 ha (22%), respectivamente. La Clase 2 abarcó las series La

Pintada, Cuzalapa y La Huerta, que de acuerdo con sus características: profundidad, pendiente menor a 2% y textura franca, resultaron ser las tierras más aptas para el cultivo de riego.

El problema de estas tierras se presenta por el método de riego utilizado, por inundación, lo que propicia en aquellas parcelas con pendientes inclinadas la pérdida de suelo superficial y, por lo tanto, de la fertilidad del mismo, situaciones que en un momento dado pueden transformar a estas tierras de una Clase 2 a una Clase 3 e inclusive a una Clase 4.

Es importante que en estas tierras se tengan presentes las prácticas de conservación y, dado que uno de los problemas principales es el método de riego utilizado, es recomendable que en el momento de preparar las tierras al cultivo se realice un trazo de riego con el fin de hacer eficiente el uso y manejo del agua, así como reducir el impacto sobre el arrastre del suelo.

En lo que respecta a las tierras de Clase 4, se detectaron factores desfavorables, como rocosidad de hasta un 70% (0.5-2 m) y algunas zonas con suelos someros (< de 100 cm); se ubicó en esta clase a la serie Las Gardenias.

Como alternativa de mejoramiento, en general, para disminuir el impacto de los factores desfavorables antes mencionados, está el establecimiento de pastizales como una herramienta tanto de conservación del suelo como de redituabilidad económica para los campesinos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las características físicas que conforman a esta subcuenca, los problemas son básicamente la pendiente, la rocosidad, la pedregosidad y la falta de agua para riego en la época de estiaje (marzo a mayo), este último de difícil solución, ya que como se hizo mención, la topografía presente no permite el almacenamiento mediante represas. Además de que existe un desconocimiento de prácticas de conservación de suelos y de manejo del agua de riego, por lo que es recomendable considerar la capacitación campesina como una estrategia importante, en relación con las prácticas de conservación establecidas y recomendadas, para obtener un manejo más eficiente del recurso suelo-agua de esta subcuenca.

LITERATURA CITADA

- BLACK, C.A. (de.). 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- BLACK, J.P. et B.P. KORESEC. 1979. Etudes des courbes granulométriques globales (0.002-2 mm) pour l'analyse factorielle des correspondances. Application aux formations superficielles del "Llanos centrales" du Venezuela. Revue de Geomorphologie Dynamic, Geodynamique externe. Etude integree du milieu naturel. XXVIII année No. 1. Paris, France.
- BOUYOUCOS, G.J. 1963. Direction for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. Soil Science 42: 25-30.
- BUREAU OF RECLAMATION. 1953. Manual de clasificación de tierras con fines de riego. Traducción al español de J.A. Estrada. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela.
- CHAMPAN, D.H. 1976. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Department of Soil and Plant Nutrition, University of California, Riverside, California, EUA, Trillas. México, D.F.
- CUANALO DE LA C., H. 1981. Manual para la descripción de perfiles en campo. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- GUEVARA, G.R. y L.M. MARTINEZ R. 1990. Hidrografía de la subcuenca de Cuzalapa, Sierra de Manantlán. p. 194. In: Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón, Coahuila, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1988. Carta topográfica escala 1:50 000: E 13 B 22, E 13 B 23, E 13 B 32 y E 13 B 33.
- JARDEL P., E.J. (Coord.). 1992. Estrategia para la conservación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal., México.

- MARTINEZ R., L.M. y R.D. GUEVARA G. 1990. Sistema tradicional de riego con base en escurrimientos superficiales en Cuzalapa, Sierra de Manantlán, Jalisco. pp. 182-190. *In: Memorias del Primer Simposium Nacional sobre Captación (in situ) del Agua de Lluvia y Manejo de Escurrimientos Superficiales a Nivel Parcela.* Zacatecas, Zac., México.
- MARTINEZ R., L.M., J. DE J. SANDOVAL L. y R.D. GUEVARA G. 1991. Climas de la Reserva de Biosfera, Sierra de Manantlán y su área de influencia. *Agrociencia* 2: 107-119.
- MUNSELL SOIL COLOR CHART. 1975. Edition Munsell Color Company. Inc. Baltimore Maryland, USA.
- RAMOS H., J. 1987. Estudio preliminar de la comunidad indígena de Cuzalapa. Municipio de Cuautitlán, Jalisco. Laboratorio Natural las Joyas. Reporte Técnico. Jalisco, México.
- RICHARDS, L.A., L.E. ALLISON, J.W. BROWN, H.E. HAYWERD, L. BERNSTEIN, M. FIREMAN, G.A. PEARSON, L.V. WILCOX, C.A. BOWER, J.T. HATCHER y R.C. REEVE. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Quinta reimpresión. Editorial Trillas. México, D.F.
- SANDOVAL L., J. DE J. 1991. Levantamiento agrológico con fines de riego de la subcuenca de Cuzalapa, Sierra de Manantlán, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agricultura. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy a basic system of soil. Classification for making and interpretation soil survey. Soil Conservation Service USDA. Agriculture Handbook No. 436. USA.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1981. Síntesis Geográfica del Estado de Jalisco. México.
- VAZQUEZ G., J.A., R. CUEVAS G., T.S. COCHRANE y H.H. ILLIS. 1990. Flora de la Reserva de Biosfera, Sierra de Manantlán, Jalisco, México. Universidad de Guadalajara. Publicación: especial No. 1 y Contributions From the University of Wisconsin Herbarium No. 9. Guadalajara, Jalisco, México.
- WALKLEY, A.L. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63: 251-264.

AREAS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DE CUCURBITACEAS EN EL PROYECTO DE RIEGO CHILATAN DE TEPALCATEPEC, MICH.

Potential Areas for Cucurbit Crops in the Chilatan Irrigation Project of Tepalcatepec, Mich.

L. M. Tapia V., A. Ruiz C., A. Muñoz V., M. Tiscareño, E. Venegas G.
C. Sánchez B., R. Molina y X. Chávez C.

INIFAP. Pacífico Centro. Apartado Postal 40. Apatzingán, Mich.

Palabras clave: Areas potenciales, Cultivos cucurbitáceas, Riego.

Index words: Potential areas, Cucurbit crops, Irrigation.

RESUMEN

La cuarta unidad del proyecto de regadío Cupatitzio-Tepalcatepec, contempla la incorporación al riego de 17 000 hectáreas en la región de Tepalcatepec, Mich. Por ser una zona completamente nueva al riego, requiere un manejo adecuado del recurso agua-suelo-cultivo, para mantener un desarrollo agrícola desde el concepto de agricultura sostenible. El objetivo de este trabajo fue: obtener la superficie óptima para tres cultivos cucurbitáceas, de acuerdo con sus requerimientos agroclimáticos y su ubicación geográfica en la zona del proyecto. A partir de la literatura, se obtuvieron las necesidades de clima y suelo de los cultivos. En campo, mediante muestreo intensivo de suelo (cada 500 m), se tomaron dos muestras de suelo a las profundidades 0 a 30 y 30 a 60

cm y se midió la profundidad del suelo. En laboratorio, se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo (arena, arcilla, limo, capacidad de almacenamiento de agua, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica). Se analizó la información histórica de las estaciones climáticas localizadas en el área de estudio para obtener el modelo de distribución espacial de temperatura máxima y mínima. El área de trabajo se digitó a nivel parcelario con ARC-INFO en cartas geográficas 1:20 000. Se generaron mapas regionales de altitud y pendiente con el uso del modelo de elevación digital 90 x 90 m de INEGI y se integraron, en Lotus, las bases de datos de las variables de suelo, clima y cultivo al sistema de información geográfica IDRISI 4.1., que comparó los requerimientos agroclimáticos de los cultivos con los disponibles en cada parcela y los ubicó geográficamente en la región del proyecto; finalmente, se obtuvo la superficie óptima para cada cultivo.

SUMMARY

The Fourth Unit of the Irrigation Project Cupatitzio-Tepalcatepec, deals, with the incorporation of 17 000 hectares of agricultural

Recibido 3-95.

lands to irrigation in the Tepalcatepec Region. Because irrigation is completely new in the area, there is the need for an adequate management of the water-soil-crop resources in order to achieve an agricultural development based on the concept of sustainable agriculture. The purpose of this work was to determine the optimum surface for cropping of three cucurbit crops, based on their agroclimatic requirements and geographic location within the area of the project. From the literature the soil and climate requirements for the crops were documented. Field studies included intensive soil sampling (every 500 m), where two soil samples were taken at 0-30 and 30-60 cm depths. In the laboratory, chemical and physical soil properties (sand, clay and loam percentages, water storage capacity, pH, electric conductivity, and organic matter) were determined. Historical records of climatic information from 13 meteorological stations within the study area were analyzed in order to get a spatial distribution model of maximum and minimum temperatures. The working area was digitized through ARC-INFO in geographic charts 1:20 000. Regional maps of altitude and slope were generated using INEGI's model of digital elevation 90 x 90 m, and data on soil, climate and crop variables were integrated with Lotus to IDRISI's system of geographic information 4.1, which compared crop agroclimatic requirements and field available data and located them within the project region. Finally, the optimum area for each crop was obtained.

INTRODUCCION

La IV Unidad del Proyecto de regadío Cupatitzio-Tepalcatepec, contempla la apertura al riego superficial de 17 000 ha y la rehabilitación de 3 000 ha ya existentes. Dentro del concepto de agricultura sostenible es de suma importancia mantener en forma eficiente la

productividad del recurso agua-suelo-cultivo. Una estrategia para lograr este objetivo, es planificar el desarrollo agrícola en función de las potencialidades reales de las tierras de labor.

El agua es un recurso determinante en la productividad agrícola, contar con este recurso eleva el potencial de producción de las tierras, sin embargo, el manejo deficiente del agua de riego, eventualmente puede ocasionar reducción paulatina de la productividad del suelo (García y Briones, 1986). El contar con agua de riego impone, además, la obligación de establecer sistemas de producción rentables, ya que es un recurso caro y escaso. En este sentido, el cultivo de hortalizas, específicamente cucurbitáceas, es una opción atractiva, ya que aunque requiere de una alta inversión de capital en el proceso productivo, la rentabilidad es alta sobre todo en la región, donde pueden producirse cosechas fuera de temporada y por lo tanto con mayor precio. Además, el cultivo de cucurbitáceas posibilita la apertura de exportaciones hacia Estados Unidos y Canadá, quienes junto con México, integran el mercado más grande del mundo (Ennis, 1995).

Para determinar el nivel de aptitud de una región para el establecimiento de cultivos, deben considerarse los requerimientos agroecológicos de los cultivos y las disponibilidades ambientales de la zona de estudio (Ruiz, 1993).

La adaptabilidad de los cultivos a una región determinada, de acuerdo con Pereira (1982), está dada por condiciones ambientales donde el clima es el factor más importante; y climatológicamente, una región se clasifica como apta, marginal y no apta.

Pascale (1979), indica que al comparar los elementos ecológicos disponibles y los

requerimientos de las especies posibles de introducir se abarca desde el aspecto biológico, inherente al cultivo, hasta el aspecto físico, relacionado con los elementos del clima y suelo.

Así, si una región deficitaria en agua pasa a convertirse en húmeda, al menos en el contenido hídrico del suelo, el comportamiento del cultivo responderá más al resto de los elementos del complejo ambiental que a la acción del agua.

Reddy (1984) subraya la importancia de las variables edafambientales en el potencial productivo de los cultivos; bajo una misma condición climática, los Vertisoles pueden producir cultivos más exigentes que en otro tipo de suelos donde difícilmente prosperarían.

De acuerdo con Crespo *et al.* (1992), el conocimiento del potencial agroclimático de un lugar se fundamenta en la identificación de zonas con mejores condiciones climáticas de acuerdo a los requerimientos agroclimáticos de los cultivos, manejo de datos de clima y evaluación de la adaptabilidad y rendimiento potencial. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las áreas de alto potencial para el cultivo de cucurbitáceas en la IV Unidad del Proyecto de riego Cupatitzio-Tepalcatepec y ubicarlas geográficamente en la región.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en el valle de Tepalcatepec, Mich., en la porción occidental de Tierra Caliente (valle de Apatzingán), entre los paralelos 19°02' y 19°13' de latitud norte, y los meridianos 102°10' y 102°52' de longitud oeste, con una altitud de 280 a 380 m. El clima de la región es cálido seco, BS1, sin invierno definido y seco, con precipitación media de 600 mm de junio a

octubre. Los suelos predominantes son los Vertisoles.

Se definieron las áreas de alto potencial para el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.) y sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad), con base en la comparación de los requerimientos agroecológicos de estas especies y de las disponibilidades de clima suelo-topografía de la región de estudio. Los requerimientos utilizados en el análisis de áreas potenciales, son los que se describen en el Cuadro 1. Para determinar las disponibilidades clima-suelo-topografía de la región, se utilizaron los siguientes procedimientos:

1. Delimitación del área de estudio

Se utilizó una carta escala 1:20 000 con coordenadas UTM, se digitó mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ARC/INFO.

2. Caracterización de las condiciones de suelo

Las variables de suelo consideradas fueron: pendiente, profundidad, textura, pH y conductividad eléctrica (CE). La primera se cuantificó con el uso del modelo de elevación digital de INEGI con un tamaño de celda de 90 x 90 m y mediante el SIG IDRISI 4.1 con el comando Surface. El resto de las variables se caracterizó mediante muestreos de campo a dos profundidades, 0 a 30 y 30 a 60 cm, a excepción de la profundidad de suelo, la cual se exploró con barrena hasta encontrar el material parental. Cuando no se encontró el material parental se exploró como máximo a 120 cm.

El muestreo se realizó en forma de cuadrícula con puntos de muestra cada 500 m. En total se muestrearon 665 puntos. Una vez realizado el trabajo de campo, las muestras de suelo se analizaron en el laboratorio de suelos de

Cuadro 1. Requerimientos agroclimáticos de melón, pepino y sandía considerados en Tepalcatepec, Mich. 1994.

Cultivo	Temperatura media	Profundidad suelo	pH	CE	Textura	m
	oC	cm		mmho/cm		%
Melón	18-30	50	6.5-7.5	<2	F,MA,MRA	<4
Pepino	20-28	50	5.5-7.5	<2	F,MA,MRA	<4
Sandía	21-30	50	5.0-7.5	<2	F,MA,MRA	<4

CE = conductividad eléctrica; m = pendiente; F = Franca; MA = migajón arcillosa; MRA = migajón arcillo arenosa.

Fuente: Whitaker y Davis (1962); Parsons (1987); Benanchio (1982); Valadez (1989); Baradas (1994)

la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en el Distrito de Desarrollo Rural (DDR 086) de Apatzingán, Mich. Los métodos de laboratorio utilizados fueron: la determinación de arcilla, arena y limo por el método de Bouyoucos; el pH, se determinó potenciométricamente en agua en una relación suelo:solución 1:10; la C.E. se determinó en dS, mediante lectura del conductímetro.

3. Caracterización de las condiciones climáticas

Dado que el tipo de agricultura que se proyecta practicar en el área de estudio es de riego, las variables de clima consideradas para el diagnóstico del potencial se relacionaron únicamente con la temperatura: temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media. Debido a que los requerimientos térmicos de las especies fueron especificados en términos de temperatura media, en el análisis se utilizó sólo esta variable.

Para determinar la temperatura media del área de estudio se elaboró una base de datos en LOTUS 123, la cual se transfirió a SICA 2.0, donde se calculó la temperatura máxima y temperatura mínima anual de 13 estaciones consideradas en dicha base de datos. Las estaciones se ubican dentro y alrededor de la zona de estudio. Los valores anuales de

temperatura máxima y mínima se utilizaron para generar modelos altotérmicos, estos modelos se implementaron en el SIG IDRISI 4.1 para generar un mapa de temperatura promedio anual del área de trabajo. Los comandos utilizados fueron Scalar y Overlay. Los modelos obtenidos se describen como:

$$T_{\max} = 36.357156 - 0.006134 \text{ Alt} \quad (n = 13, R^2 = 0.90 \text{ EE} = \pm 1.4 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$T_{\min} = 23.665563 - 0.007921 \text{ ALT} \quad (n=13 R^2= 0.95 \text{ EE} = \pm 1.2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

donde:

T_{\max} = Temperatura máxima anual ($^\circ\text{C}$)

T_{\min} = Temperatura mínima anual ($^\circ\text{C}$)

Alt = Altitud (m)

EE = Error de estimación

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de la caracterización edafoclimática de la región de estudio, se aprecia en mayor proporción el alto potencial natural de estos suelos, clasificados de acuerdo con el Soil Survey Staff (1990) como TROPARGERT

(Vertisol argílico continuamente caliente); de acuerdo con Ortiz (1995), los suelos de este orden, por su alta productividad, son los más importantes de México; además, la mayor parte del área presenta bajas pendientes y de mediana a alta profundidad, la única limitación la constituye el pH en el que la mayor superficie está por encima de 7.5.

Por lo que respecta al grupo de texturas de suelo, la mayoría de los suelos son arcillosos (> 10 000 ha), seguido de los de textura media (aproximadamente 6 400 ha), y en menor proporción, los de tendencia arenosa (3500 ha). De acuerdo con estos valores, los suelos son de alta capacidad de retención de agua, por lo que

pierden humedad lentamente; sin embargo, por su misma naturaleza de lento drenaje, podrían contribuir a la presencia de enfermedades radiculares.

Respecto al clima, la mayor parte del valle se encuentra entre 27 y 28 °C de temperatura media, con temperatura máxima de 37 a 40 °C y mínima de 17 a 19 °C; estas temperaturas, se encuentran dentro del intervalo de valores recomendados por Whitaker y Davis (1962) y Parsons (1987), para estas cucurbitáceas; con el clima caluroso durante todo el año y sin invierno definido, puede producirse todo el año, aunque habría que tener en cuenta el riesgo de plagas, cuya incidencia se incrementa con las altas temperaturas.

La superficie potencial para melón, pepino y sandía, en función de cada una de las variables de diagnóstico se describe en las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5. El pH resultó ser la variable más limitativa de la superficie potencial de estos cultivos (Figura 1). Para melón, la superficie en la que se cuenta con un pH de 6.5 a 7.5 (óptimo) asciende a 3789.99 ha, mientras que para pepino y sandía, la superficie con un pH óptimo (5.0 a 7.5 y 5.5 a 7.5, respectivamente), en ambos casos fue de 3797.28 ha, que acusa una coincidencia total en cuanto a áreas con éstas características Benanchio (1982) y Valadez (1989) indican que este tipo de cultivos pueden tolerar cierta acidez en el suelo, no obstante, al transpasar el umbral neutro, el pH es un fuerte factor limitativo para estas especies, por ello se obtuvieron las menores superficies potenciales.

Con respecto a la textura (Figura 2), fue la segunda variable más limitativa. La superficie que cubrió el requerimiento de texturas franca (F), migajón arcillosa (MA) y migajón arcillo

Cuadros 2. Distribución de variables edafoclimáticas en el Valle de Tepalcatepec, Mich. 1995.

Variable	Superficie ha
Textura	
Arcillosa	10 080.0
Media	6 415.0
Arenosa	3 567.0
pH	
< 6.5	10.5
6.5 - 7.5	1 911.0
> 7.5	18 111.0
Profundidad	
< 30 cm	55.0
30-60 cm	7 617.0
> 60 cm	12 361.0
Pendiente	
< 4%	16 075.0
4-15 cm	2 822.0
> 15 cm	1 139.7
Temperatura media anual	
< 27 °C	122.0
27-28 °C	17 811.0
> 28 °C	2 095.0

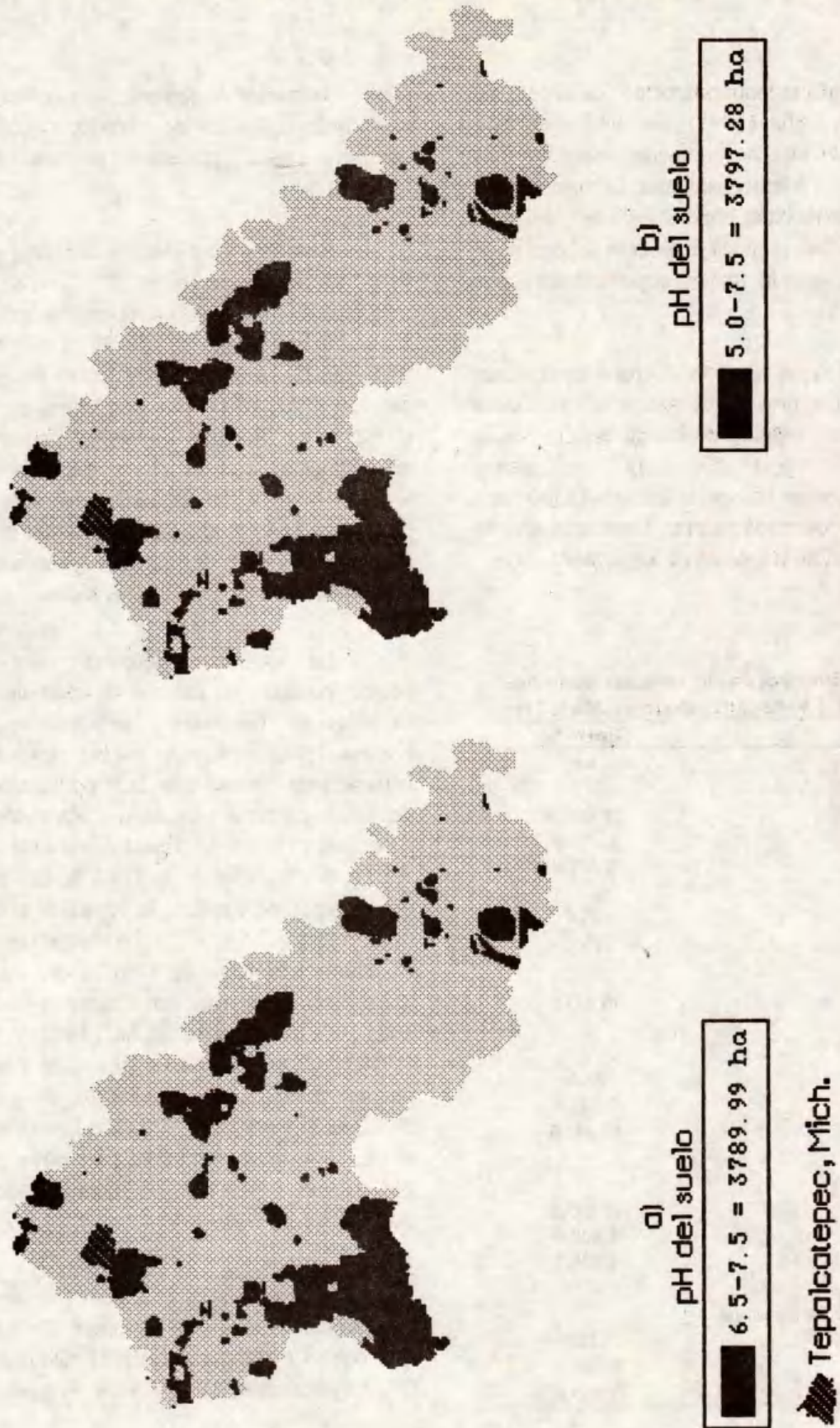


Figura 1. Areas potenciales por pH: a) para melón; b) para pepino y sandía.

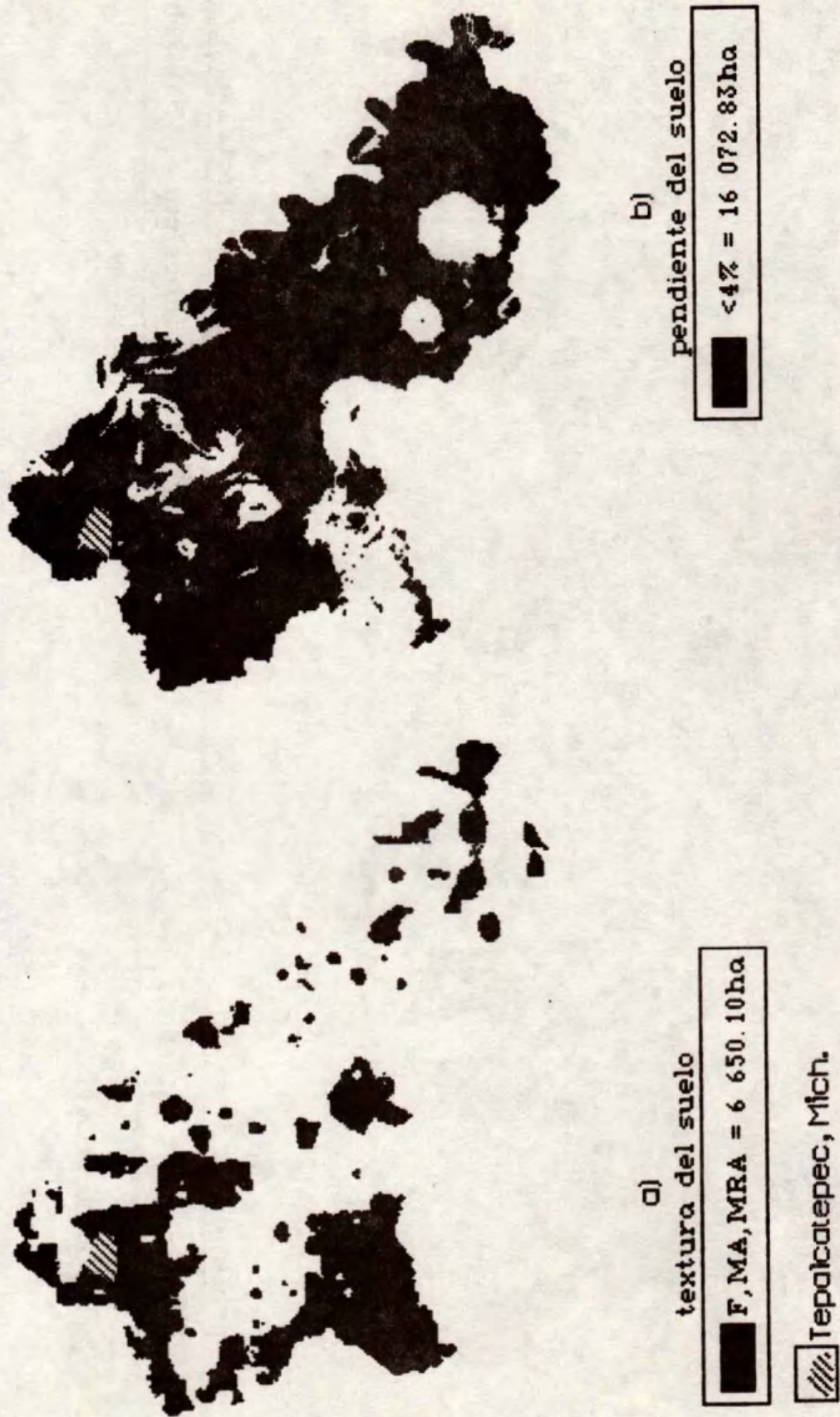


Figura 2. Areas potenciales para melón, pepino y sandía: a) por textura y, b) por pendiente.



Figura 3. Areas potenciales para melón, pepino y sandía: a) por profundidad de suelo y, b) por conductividad eléctrica.

arenosa (MRA), por parte de los tres cultivos fue de 6650.10 ha.

Para el caso de las variables pendiente (Figura 2), profundidad del suelo (Figura 3) y conductividad eléctrica (Figura 3), resultaron ser menos limitativas para el desarrollo de las cucurbitáceas en estudio, ya que las superficies que cubrieron las condiciones de menos de 4% de pendiente, más de 60 cm de suelo y menos de 2.0 de C.E., fueron 16 072.83, 12 361.41 y 19 951.92 ha, respectivamente.

El factor temperatura, debido a la estabilidad topográfica y de relieve del valle, no fue restrictivo en la distribución de áreas potenciales para los cultivos en estudio; en la Figura 4 se aprecian las áreas potenciales por temperatura para melón, pepino y sandía. El requerimiento de 20 a 28 °C para melón y pepino, se cubrió en una superficie de 17 939.07 ha, mientras que el requerimiento para sandía de 22 a 29 °C, alcanzó la superficie total del área de estudio.

Finalmente, la conjunción de las seis variables edafoambientales, en la superficie de la IV Unidad del Proyecto, muestra en forma clara que las áreas potenciales para producir sandía y pepino son 514.35 ha, mientras que para el cultivo del melón son 507.06 ha, las cuales se distribuyen principalmente en la parte sur-occidental del valle de Tepalcatepec y en pequeñas superficies en el norte y el centro (Figura 5). Se aprecia que la mayor parte de la superficie del valle (>19 000 ha), no presentan alto potencial de producción para este tipo de cultivos y se localizan en el sur y este del valle.

La aplicación de herramientas de alta tecnología, como los Sistemas de Información Geográfica y el modelo de elevación digital de INEGI, obtenido a su vez por Percepción

Remota, sin obviar el trabajo de campo que es el que proporcionó la información más importante del estudio en cuanto a las variables edáficas restrictivas, produjo información acorde con las directrices para este tipo de estudios, descritas por Morgan y Munton (1975), Peplies (1976) y Goth (1988), en el sentido de utilizar los métodos modernos para la obtención de áreas potenciales de alta productividad, restringidas o favorecidas dichas áreas, por los factores ambientales que interactúan con los probables cultivos. Además, los resultados usualmente son más baratos en este tipo de simulaciones que los fracasos derivados de una ausencia de planeación previa, como lo aseguran van Evert y Campbell (1994).

Por otra parte, la gran cantidad de datos producto del muestreo de campo (más de 665 puntos de muestreo y seis variables restrictivas),

hace que los resultados tengan un alto grado de confiabilidad, Bierkens y Weerts (1994) indican que en este tipo de trabajos son necesarios, una gran cantidad de barrenaciones para que la explicación estadístico-computacional del complejo sea exitosa.

CONCLUSIONES

1. La nueva región de riego se caracteriza principalmente por su clima cálido, suelos arcillosos de mediana a alta profundidad, alcalinos y pendientes menores a 4%.
2. Los mas altos potenciales productivos para melón, sandía y pepino se localizan en la parte sur-occidental del valle de Tepalcatepec, por

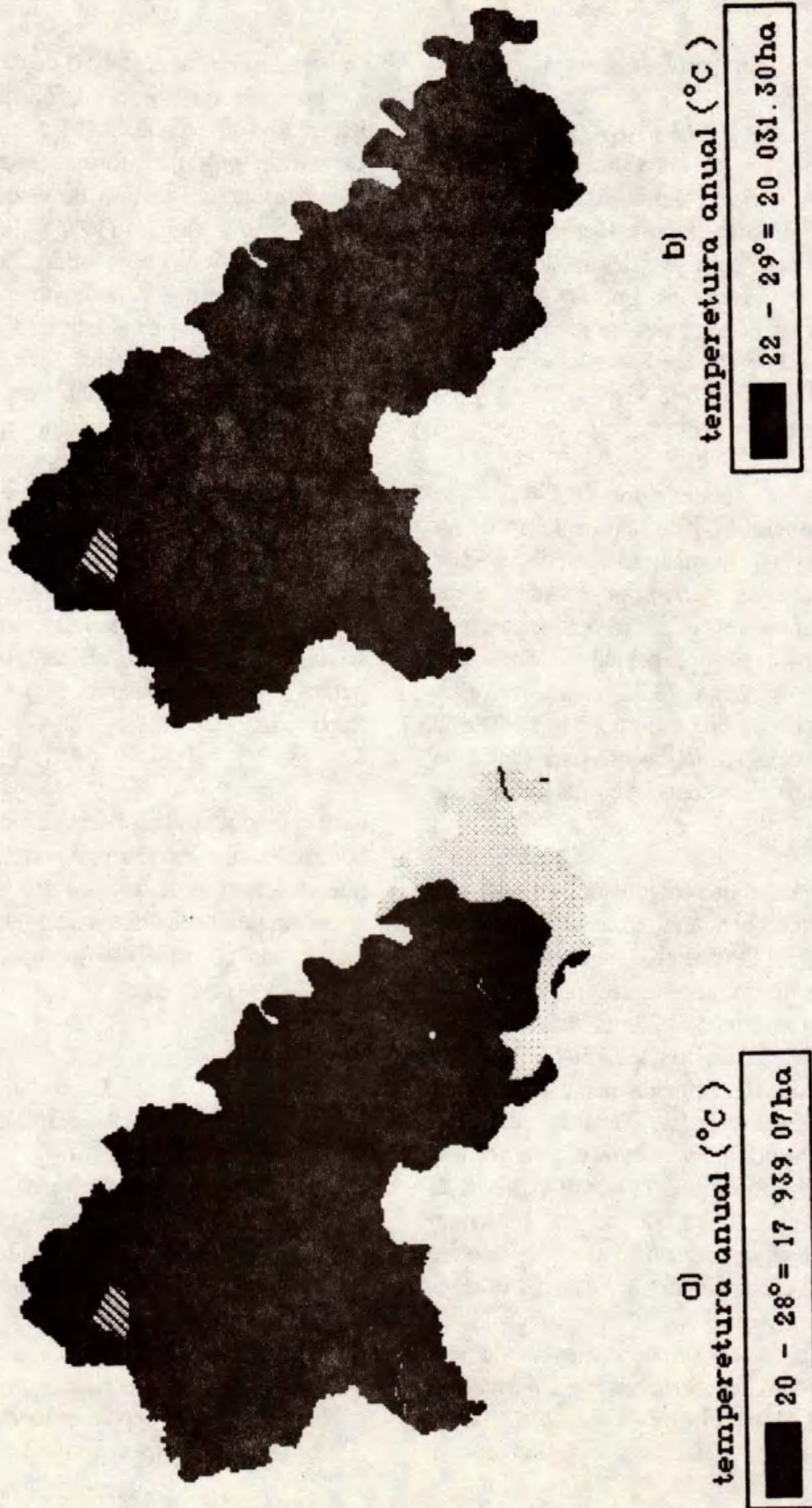


Figura 4. Areas potenciales por temperatura: a) para melón y pepino; b) para sandia.



Figura 5. Areas potenciales para: a) sandía y pepino, b) melón.

arenosa (MRA), por parte de los tres cultivos fue de 6650.10 ha.

Para el caso de las variables pendiente (Figura 2), profundidad del suelo (Figura 3) y conductividad eléctrica (Figura 3), resultaron ser menos limitativas para el desarrollo de las cucurbitáceas en estudio, ya que las superficies que cubrieron las condiciones de menos de 4% de pendiente, más de 60 cm de suelo y menos de 2.0 de C.E., fueron 16 072.83, 12 361.41 y 19 951.92 ha, respectivamente.

El factor temperatura, debido a la estabilidad topográfica y de relieve del valle, no fue restrictivo en la distribución de áreas potenciales para los cultivos en estudio; en la Figura 4 se aprecian las áreas potenciales por temperatura para melón, pepino y sandía. El requerimiento de 20 a 28 °C para melón y pepino, se cubrió en una superficie de 17 939.07 ha, mientras que el requerimiento para sandía de 22 a 29 °C, alcanzó la superficie total del área de estudio.

Finalmente, la conjunción de las seis variables edafoambientales, en la superficie de la IV Unidad del Proyecto, muestra en forma clara que las áreas potenciales para producir sandía y pepino son 514.35 ha, mientras que para el cultivo del melón son 507.06 ha, las cuales se distribuyen principalmente en la parte sur-occidental del valle de Tepalcatepec y en pequeñas superficies en el norte y el centro. Se aprecia que la mayor parte de la superficie del valle (>19 000 ha), no presentan alto potencial de producción para este tipo de cultivos y se localizan en el sur y este del valle.

La aplicación de herramientas de alta tecnología, como los Sistemas de Información Geográfica y el modelo de elevación digital de INEGI, obtenido a su vez por Percepción

Remota, sin obviar el trabajo de campo que es el que proporcionó la información más importante del estudio en cuanto a las variables edáficas restrictivas, produjo información acorde con las directrices para este tipo de estudios, descritas por Morgan y Munton (1975), Peplies (1976) y Goth (1988), en el sentido de utilizar los métodos modernos para la obtención de áreas potenciales de alta productividad, restringidas o favorecidas dichas áreas, por los factores ambientales que interactúan con los probables cultivos. Además, los resultados usualmente son más baratos en este tipo de simulaciones que los fracasos derivados de una ausencia de planeación previa, como lo aseguran van Evert y Campbell (1994).

Por otra parte, la gran cantidad de datos producto del muestreo de campo (más de 665 puntos de muestreo y seis variables restrictivas),

hace que los resultados tengan un alto grado de confiabilidad, Bierkens y Weerts (1994) indican que en este tipo de trabajos son necesarios, una gran cantidad de barrenaciones para que la explicación estadístico-computacional del complejo sea exitosa.

CONCLUSIONES

1. La nueva región de riego se caracteriza principalmente por su clima cálido, suelos arcillosos de mediana a alta profundidad, alcalinos y pendientes menores a 4%.
2. Los mas altos potenciales productivos para melón, sandía y pepino se localizan en la parte sur-occidental del valle de Tepalcatepec, por

lo que estas áreas son las más propicias para este tipo de cultivos.

3. La superficie potencial para los tres cultivos considerados es de aproximadamente 515 ha, donde podrían expresarse los más altos rendimientos en estas especies de cultivo.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo institucional brindado para realizar la presente investigación a: Comisión Nacional del Agua (Tepalcatepec y Apatzingán, Mich), Delegación Estatal de la SARH, Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal del Gobierno Estatal y el Fideicomiso de Riesgo Compartido, así como la colaboración entusiasta de la Asociación de Usufructarios de los módulos 10 y 11 de la IV Unidad del Proyecto de Riego Cupatitzio-Tepalcatepec. A Tere y Mariana (qepd).

LITERATURA CITADA

- BARADAS, M.W. 1994. Crop requirements-tropical crops. pp. 189-202. *In: Handbook of Agricultural Meteorology*. Oxford Univ. Press, Oxford, London.
- BENANCHIO S., S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano. Centro Nal. de Inv. Agrop., Maracay, Venezuela.
- BIERKENS, M.F.P., and H.J.T. WEERTS. 1994. Application of indicator simulation to modelling the lithological properties of a complex confining layer. *Geoderma* 62: 265-284.
- CRESPO P., G. R. ARTEAGA R., L. THERINA C. y G. BUENO A. 1992. Programa de cómputo para la adaptabilidad de cultivos y estimación de rendimientos potenciales. *Agrociencia. Serie Agua-Suelo-Clima*. 3(3): 79-93
- GARCIA C., I. y G. BRIONES, S. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah.
- ENNIS, J. 1995. La caída del peso significa mayores oportunidades. *Productores de Hortalizas* 4(2): 6.
- GOTH, C.I. 1988. GEDE software for the strategic choice of crops. *Acta Horticulturae*. 237: 65-68
- MORGAN W.B., and R.P.C. MUNTON. 1975. *Geografía agrícola*. Ed. Omega Barcelona, España.
- ORTIZ S., C. 1995. Fundamentos de pedología. Apuntes de curso. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- PARSONS, D.B. 1987. Cucurbitáceas. Manuales para educación agropecuaria. Trillas, México.
- PASCALÉ, A.J. 1979. Evaluación de los recursos bioclimáticos de las regiones áridas y semiáridas. pp. 299-320. *In Simposio internazionale sulla integrazione della ricerca per la valorizzazione delle risorse biologiche delle zone aride e semiaride delle America Latina*. FAO, Roma, Italia.
- PEREIRA, A.R. 1982. Crop planning for different environments. *Agric. Meteorol.* 27: 71-77
- PEPLIES, W.R. 1976. Cultural and landscape interpretation. pp. 483-507. *In: Remote Sensing of environment*. Addison-Wesley Pub.
- REDDY, S.J. 1984. Agroclimatic classification of the semiarid tropics. III. Characteristics of variables relevant to crop production potential. *Agric. Meteorol.* 30: 269-297.
- RUIZ C., A. 1993. Zonas con alto potencial agroclimático para el cultivo del guayabo en los estados de Zacatecas y Aguascalientes. *Fitotecnia* 16(1): 69-78
- SOIL SURVEY STAFF. 1990. Key to soil taxonomy 4th ed. Virginia Polytechnic Institute, Virginia, USA.
- VALADEZ L., A. 1989. Producción de hortalizas. Noriega Eds., México.
- VAN EVERT, F.K., and G.S. CAMPBELL. 1994. Cropyst: a collection of object-oriented simulation models of agricultural systems. *Agron. J.* 86: 325-331.
- WHITAKER, T.W., and G.N. DAVIS. 1962. Cucurbits botany cultivation and utilization. Iterscience Pub., New York, USA.

HIDRODINAMICA DE SUELOS BAJOS EN ZONAS ARIDAS DEL NORTE DE MEXICO

Hydrodynamics of Low-Land Soils in Arid Zones of Northern Mexico

Victor M. Reyes Gómez

Instituto de Ecología, Apartado Postal 632,
34000 Durango, Dgo., México

Palabras clave: Simulación de lluvia, Esgurrimiento e infiltración.

Index words: Rainfaill simulated, Runoff and infiltration.

RESUMEN

Se determinaron las características hidrodinámicas de suelos en zonas bajas del paisaje dentro de una cuenca endorreica de un ecosistema árido del norte de México (reserva de la biosfera de Mapimí, Dgo., México).

Las zonas de estudio representan unidades ambientales definidas con base en su geomorfología, topografía y estados de superficie. Las unidades son: la bajada inferior, la transición bajada playa (zona de depresiones) y playa. Se instalaron micro-parcelas de estudio de 1 m² distribuidas de la siguiente manera: dos en la bajada inferior, tres en la transición bajada playa y tres en la playa.

Recibido 6-93.

En cada parcela, se aplicaron tres intensidades promedio de lluvia (14.18, 48.92 y 108.8 mm/h), para estados seco y húmedo del suelo. Se cuantificó el escurrimiento y la infiltración en todos los sitios y en cada lluvia aplicada.

Los resultados indican que esta zona posee un coeficiente elevado de escurrimiento, 50 a 95% en lluvias de 40 mm/h o más; con una capacidad reducida para la infiltración. Se concluye que la hidrodinámica en estos suelos condiciona a estas áreas a un mínimo aprovechamiento de agua, por la gran cantidad que escurre y la poca infiltración que se presenta.

SUMMARY

The hydrodynamic characteristics of soils of a closed basin in Northern Mexico (Mapimi's Biosphere Reserve, Durango, Mexico) were evaluated through rain simulation.

The study areas represent well defined environmental units according to their geomorphology, topography and soils

superficial states. Those units were: lower bajada (downward slope), transition bajada-playa (downward slope-shore), and playa (shore). Microplots (1 m²) were located, two in lower bajada, three in transition bajada-playa and three in the playa areas. Three average intensities of rain (14.18, 48.92 and 108.8 mm/h) were applied to each plot, for both dry and humid states of soil. Infiltration and runoff were measured.

Results seem to indicate that these zones have runoff coefficients of more than 50-95 percent for rain of 40 mm/h or more, and a low infiltration capacity. It is concluded that the hydrodynamics of the studied soils makes of these areas poor users of rain water, due to their low infiltration and high runoff characteristics.

INTRODUCCION

Los recursos naturales suelo y agua de zonas áridas y semiáridas, como en la reserva de Mapimí, Durango, son factores que limitan el desarrollo vegetal repercuten en la economía del país. El aprovechamiento de esos recursos depende de las condiciones climáticas de zonas áridas. Grünberger *et al.* (1992) y Barral (1988) señalan como actividades más importantes de la región a la ganadería extensiva, la explotación de sales y algunos recursos vegetales (candelilla), las cuales se ven afectadas por la escasez de lluvia, aun cuando la explotación de sales, en algunos casos, se ve favorecida cuando la sequía no se prolonga demasiado.

La reserva de la biosfera de Mapimí fue creada en Durango desde 1975, con el objeto de conservar una porción representativa de los ecosistemas presentes en la región sur del desierto chihuahuense (Halffter, 1978).

Desde 1982, en esta reserva, el Instituto de Ecología y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM) iniciaron estudios en los que se investigan problemas orientados hacia la caracterización hidrodinámica de los diferentes suelos de esta zona y la redistribución del agua en el paisaje. Estos trabajos incluyen temas como la erosión hídrica, el escurrimiento superficial, la hidrología, la pluviometría y el estudio físico-químico de los suelos.

La hidrodinámica de suelos indica lo que ocurre con el agua de lluvia cuando llega al suelo; con la determinación de la capacidad de escurrimiento e infiltración de los suelos se contribuye al aprovechamiento óptimo del recurso agua. En la actualidad, la simulación de lluvia ayuda al investigador a conocer las características hidrodinámicas del suelo, tal es el caso del minisimulador de lluvias del tipo aspersor (ORSTOM) utilizado en el presente trabajo. Otra forma de conocer la hidrodinámica interna en los suelos, es mediante el seguimiento del contenido de agua que se infiltra en el suelo, con el establecimiento de experimentos controlados, como el estudio hecho en zonas de pastizal en esa misma región; o por registros de los perfiles de humedad después de eventos naturales de lluvia. En el presente trabajo sólo se analizará la hidrodinámica con simulación de lluvia; en otro artículo se hace referencia al movimiento de agua dentro de suelos, sobre todo en áreas de pastizales. Tales puntos se tratan por separado porque las condiciones de simulación de lluvia permiten cuantificar el escurrimiento e infiltración de una forma natural, a diferencia de que en condiciones controladas se conoce el movimiento del agua dentro del suelo. Este trabajo tiene como meta determinar las características hidrodinámicas de

suelos en partes bajas del paisaje en una toposecuencia representativa de zonas áridas del norte de México, con vista a una utilización racional de los recursos suelo y agua que repercuta positivamente en las actividades agrícolas y ganaderas.

MATERIALES Y METODOS

La reserva de la biosfera de Mapimí se localiza cerca del vértice que une los estados de Durango, Chihuahua y Coahuila (26°40' de latitud norte y 103°55' de longitud oeste).

Tiene una área de influencia de 160 mil hectáreas.

Tomando en cuenta la toposecuencia de estudio global de suelos en la reserva, propuesta por Delhoume (1988); en las unidades 4, 5, 6 y 7 (Figura 1), se describieron perfiles de suelos (mediante el sistema de FAO-UNESCO (1976) modificado para México), el microrelieve y los estados superficiales del suelo (Ballesteros, 1990; Casenave y Valentin, 1989). Se instalaron ocho microparcels para simulación de lluvia, de 1 m²: dos en zona de bajada inferior (estaciones A y B de la unidad 4), tres en zona de transición bajada-playa (C, D, E de las unidades 5 y 6), y tres en la zona de playa (F, G, H de la unidad 7).

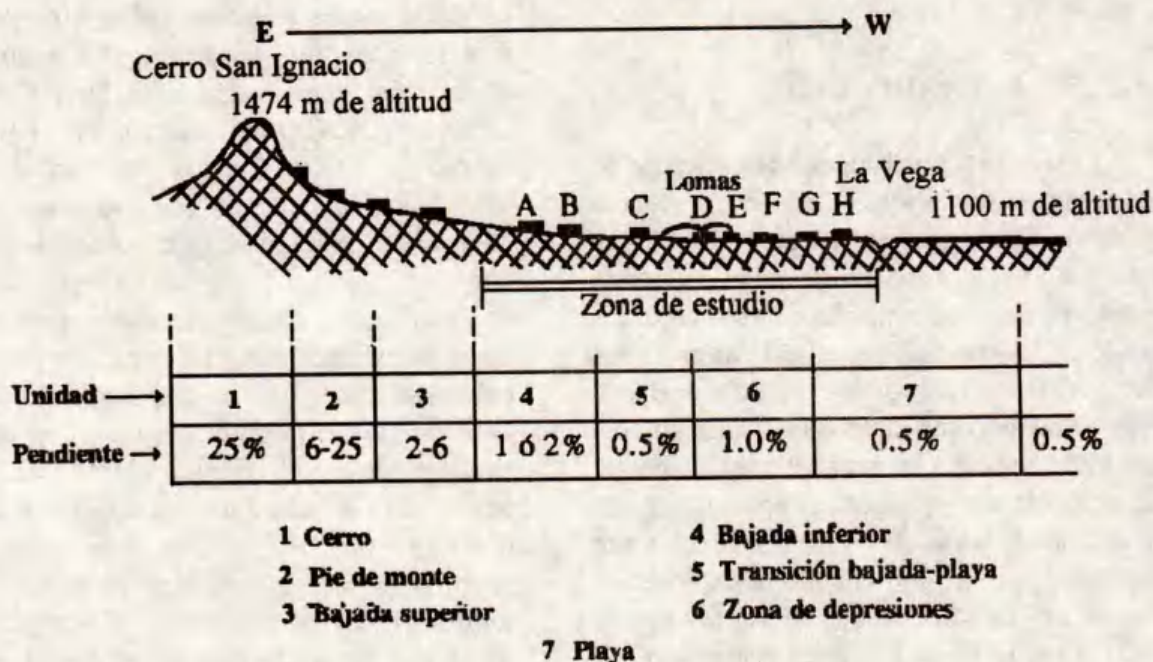


Figura 1. Toposecuencia representativa del paisaje global de estudios sobre suelos y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí. Modificada de Delhoume (1988). De A hasta H son parcelas de simulación de lluvia.

Simulación de Lluvia

Equipo

Se utilizó un minisimulador de lluvias de tipo aspersor (ORSTOM: Asseline-Valentin, 1978), versión cabeza electrónica (Deltalab ref: EID 340). El principio de este aparato es la creación de una lluvia parecida a la natural (Asseline y Valentin, 1978). El evento a simular es a partir de un aspersor (parte 3 del diagrama de la Figura 2) que se calibró en laboratorio según la apertura o ángulo del giro, con lo que varió la intensidad de lluvia. El equipo funciona con una planta eléctrica de 220 volts, la cual provee de potencial a una motobomba (partes 11 y 1, respectivamente) que sube el agua desde un depósito (implemento 2 del diagrama), hasta el aspersor del simulador. Del aspersor, el agua

cae sobre el suelo en forma de lluvia. La intensidad del evento y su duración están programados por un control electrónico o "cerebro" (parte 4). El simulador está conformado con dos recuperadores laterales de agua (parte 5) que reciclan el líquido no utilizado a la cisterna móvil del simulador (parte 7), con el solo fin de ahorrar agua. La lluvia, así producida, se recibe en el suelo, donde previamente se instaló una microparcela de recepción (parte 8). Cuando se crea escurrimiento en un cubo de lámina se recibe y se mide el volumen de agua (parte 9). Así, se pueden determinar los coeficientes de infiltración y escurrimiento para cada sitio de estudio. El cerebro electrónico se mantiene de energía a partir de una batería de 12 volts (parte 10). La presión del agua se regula con dos manómetros que establecen un intervalo de presión entre 0.5 y 0.52 bares (parte 12).

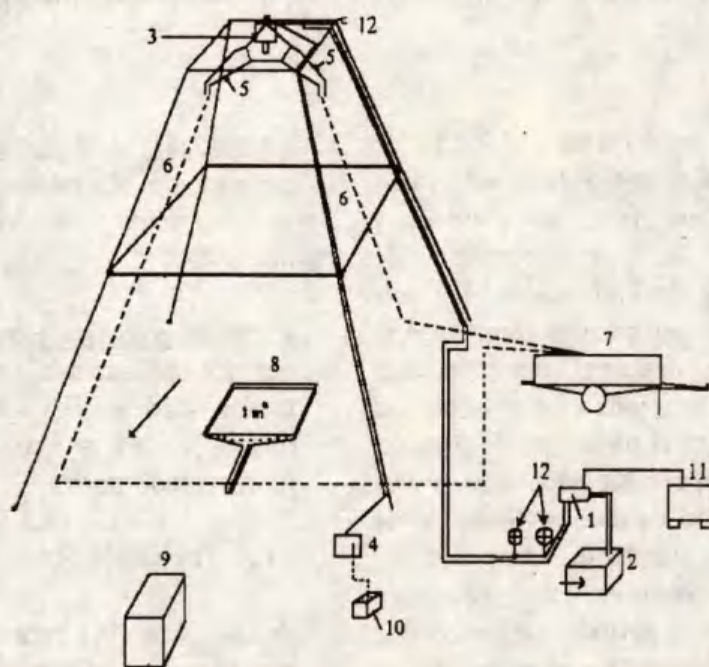


Figura 2. Esquema del simulador de lluvia tipo aspersor (ORSTOM) versión cabeza electrónica (Deltalab ref: EID 340).

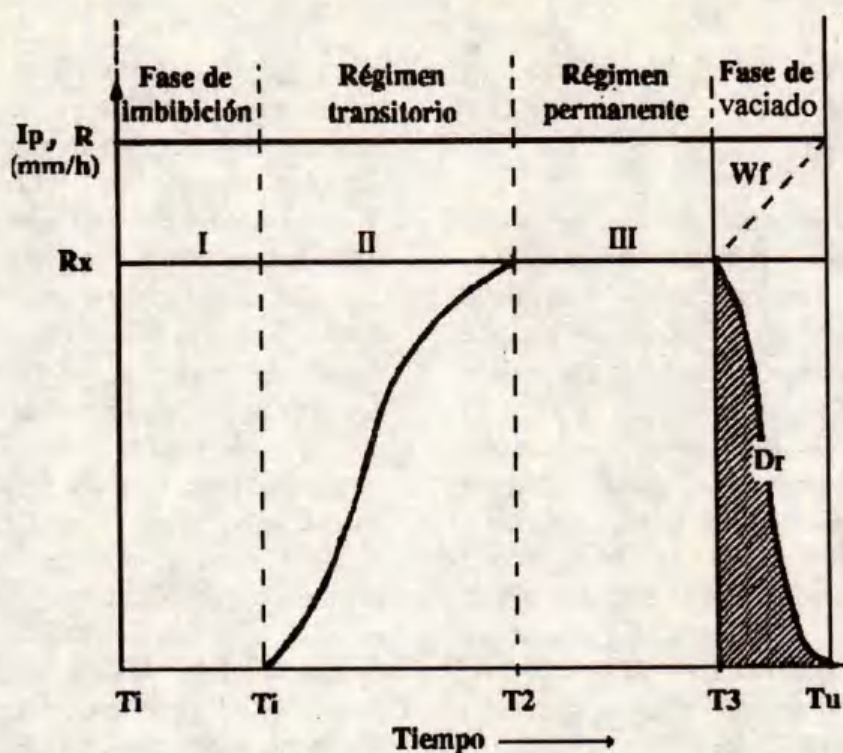


Figura 3. Hidrograma representativo de una simulación de lluvia a intensidad constante. Modificado de Lafforgue (1976). I_p y R son intensidades de lluvia y escurrimiento respectivamente; W_f y Dr son infiltración y escurrimiento después de finalizar la lluvia.

c) Fase de régimen permanente. A partir de que el escurrimiento se torna constante (T_2), ha iniciado la tercera fase; es decir, hay equilibrio entre las intensidades de escurrimiento (R_x) y de infiltración. En este caso el evento puede permanecer largo tiempo (por lo menos 10 minutos) sin presentar cambios. En estas condiciones, no es necesario continuar la lluvia y es el momento de parar el experimento. Es importante señalar que este régimen es a condición de que la intensidad de lluvia permanezca constante, lo que se manifiesta en el volumen de agua de escurrimiento. A este período se le conoce como régimen permanente de escurrimiento y es el momento en que se puede apreciar la capacidad de escurrimiento del suelo en estudio.

Intensidad de escurrimiento a régimen permanente. La intensidad durante este tiempo se determina por el promedio de dicha intensidad.

Escurrimiento útil (K_{ru}). El coeficiente K_{ru} permite analizar la aptitud de escurrimiento del estado superficial y subsuperficial de un suelo dado (Casenave y Valentin, 1989), está representado por:

$$K_{ru} = (L_r / P_u) (100)$$

donde: K_{ru} (%) representa el coeficiente de escurrimiento en el suelo; L_r , la lámina total de escurrimiento que se determina al medir el volumen total escurrido que se determina al medir el volumen total escurrido por área del

suelo en estudio (mm); Pu, la lluvia total simulada (mm).

d) Fase de vaciado. A partir de que la lluvia se para (T3), el escurrimiento desciende rápidamente hasta llegar a cero (Tu). Aquí el flujo se divide en una cantidad que escurre (Dr) y otra que se infiltra (Wf), y sólo en suelos con depresiones donde el agua se estanca, estas láminas de agua se estiman. De ahí la importancia de conocer el relieve del suelo.

Variables características de infiltración

A cada lluvia simulada corresponde una lámina infiltrada, dada por la siguiente relación:

$$Li = Pu - (Lr + Dr)$$

donde: Li = lámina infiltrada dependiente de la duración de lluvia (mm); Pu = altura total de la lluvia simulada (mm); Lr = lámina escurrida dependiente de la duración de la lluvia (mm); Dr = agua recuperable medida después del fin de lluvia (mm).

A esta lámina infiltrada (Li) corresponde un coeficiente de infiltración, expresado en porcentaje:

$$Ki = Li \times 100/Pu$$

Para una parcela dada, se puede definir un coeficiente de infiltración (%) para todo el protocolo de lluvias:

$$Ki = [\sum Li / \sum Pu] 100$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Descripción de unidades de estudio

Zona de bajada inferior (Unidad 4).

Pendientes de 1 a 2%, vegetación discontinua con alternancia de arcos vegetales y zonas desnudas, la vegetación está constituida por un estrato arbustivo, dominado por *Prosopis glandulosa*, y uno herbáceo, dominado por *Hilaria mutica*. En las parcelas, la vegetación no cubren arriba de 10% de la superficie, debido a que se ubica fuera de los arcos de vegetación. Los suelos son esencialmente Yermosoles y Xerosoles háplicos sobre aluviones finos y medianos que recubren a mediana profundidad las lutitas.

Transición bajada playa, depresiones de bajada (Unidades 5 y 6).

Pendientes entre 0.5 y 1%, la vegetación es igual que en la unidad anterior, sólo que además se encuentra *Opuntia rastrera*. En estas zonas *Larrea tridentada* es una especie que bordea los arcos de vegetación. Las parcelas presentaron 50% de vegetación, sobre todo el nivel basal y fue una sola especie la que se encontró en estos sitios, el pasto *Hilaria mutica*. Los suelos son Yermosoles gipsicos o calcáreos, de textura media, sobre aluviones arcillosos o sobre material grueso. Cubren a mediana profundidad la lutita. Presentan una acumulación secundaria de yeso o carbonato de calcio, distribuida de modo discontinuo en forma de manchas y nódulos. Los de depresión se observan con una redistribución poco acentuada y en forma discontinua de carbonato de calcio secundario.

Playa (Unidad 7). Pendientes de 0.5% o menos, con suelos donde grandes mosaicos vegetales están establecidos (matorrales halofilos de *Suaeda suffrutescens* y *S. Nigrescens*), (Montaña y Breimer, 1988). A nivel de estaciones, *S. suffrutescens* es el tipo de planta dominante; en las parcelas de estudio, la cobertura vegetal fue menor del 1%, sin embargo dentro de la unidad existen áreas donde la cobertura llegó a ser de 30%, sólo existe matorral halofilo (*S. suffrutescens*) como estrato arbustivo y pastizal mono-específico *Hilaria mutica* o *Sporobolus* spp. Los suelos son Yermosoles gípsicos en fase salina o sódica con un horizonte de acumulación secundaria de yeso; Regosoles poco a medianamente salinos y en fase sódica y Vertisoles crómicos en fase salina y sódica.

Simulación de Lluvia

Lluvias aplicadas.

El total de lluvias y tiempos empleados en cada parcela se muestran en el Cuadro 1.

Los valores promedios de las intensidades alcanzadas fueron tres magnitudes de lluvia, una mínima de 14.18 mm/h, una media de 48.92 y una máxima de 108.9.

De las cuatro fases que se presentan en cada evento, en la de imbibición el suelo superficial se logra humectar hasta una saturación aparente, cuando inicia el escurrimiento (Figura 4). La gráfica indica que a intensidad de lluvia de 14.18 mm/h la humectación del suelo es más tardada, 34 minutos

Cuadro 1. Tipos de lluvias aplicadas y tiempo empleado en cada evento, sobre cada parcela utilizada.

Estación	Intensidad mm/h	Tiempo min	Intensidad mm/h	Tiempo min	Intensidad mm/h	Tiempo min
A-S	14.4	71.0	50.2	45.6	110.7	33.5
A-H	14.4	37.9	50.2	33.0	110.7	31.5
B-S	13.5	60.0	41.3	33.8	104.4	34.5
B-H	13.5	60.0	41.3	31.0	104.4	41.0
C-S	14.8	53.0	46.4	40.0	104.6	50.9
C-H	14.8	47.5	46.4	33.0	104.6	45.0
D-S	14.4	44.3	41.4	45.0	108.5	40.0
D-H	14.4	46.5	41.4	46.0	108.5	33.0
E-S	14.5	44.6	41.2	48.9	109.6	37.2
E-H	14.5	34.5	41.2	40.6	109.6	47.0
F-S	14.2	43.0	57.5	55.0	115.4	50.0
F-H	14.2	23.0	57.5	45.0	115.4	46.0
G-S	13.3	81.0	58.5	66.0	120.7	40.0
G-H	13.3	35.0	58.1	54.0	120.9	32.0
H-S	14.4	65.0	55.3	61.0	96.4	45.0
H-H	14.4	30.0	55.3	37.0	96.4	32.0
Promedios	14.2		48.9		108.8	

A, B, C, D, E, F, G y H = unidades; S = suelo seco; H = suelo húmedo.

en total como puede apreciarse en el hidrográma correspondiente a la bajada inferior. Se apreció que en la fase de imbibición en intensidades mayores o iguales a 100 mm/h, el tiempo de imbibición máxima (primera fase) es muy corto, ya que en suelo seco el tiempo es de 3 minutos. La fase de régimen permanente se logra con mucha rapidez a intensidades máximas de lluvia, debido a la energía cinética de las gotas de lluvia, sin embargo, el déficit hídrico influye directamente, ya que se observó que este régimen se alcanza en menos tiempo cuando el suelo está húmedo. Si se toma en cuenta que las lluvias más importantes en estas regiones ocurren a intensidades de 40 mm/h o más, que el agua de escurrimiento es entre 50 y 95% de la que llueve, la elevada evaporación (2805 mm/año), el tipo de arcilla que prevalece en estos suelos (del tipo motmorillonita); se puede entender el porqué estas regiones son de

delicado manejo de los recursos suelo, agua y vegetación (Delhoume, 1988).

Componentes de lluvia.

De una lluvia total (relación $P_u = P_i + P_e$), la lluvia de imbibición (fase de imbibición) sirve para ver el efecto de saturación superficial del suelo, el déficit hídrico del mismo y el efecto de intensidad de lluvia sobre la capacidad de infiltración y escurrimiento. En la Figura 5 se ilustra el efecto de saturación del suelo, ya que en las tres unidades se aprecia que la cantidad de lluvia que se imbebe siempre es mayor para estado seco inicial del suelo que para húmedo, debido a que en este último caso del déficit hídrico es menor que para el primero. Así mismo, se ve que conforme aumenta la intensidad se produce un descenso en la imbibición.

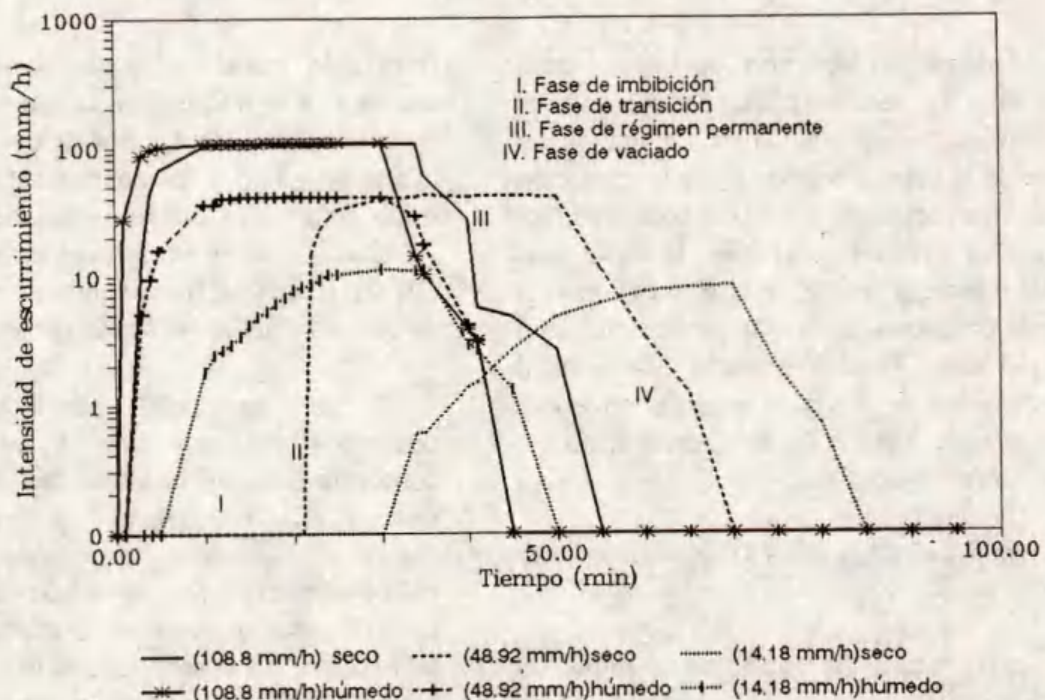


Figura 4. Hidrogramas tipo de escurrimiento presentado en la unidad de bajada, según tres intensidades de lluvia y estado seco y húmedo del suelo.

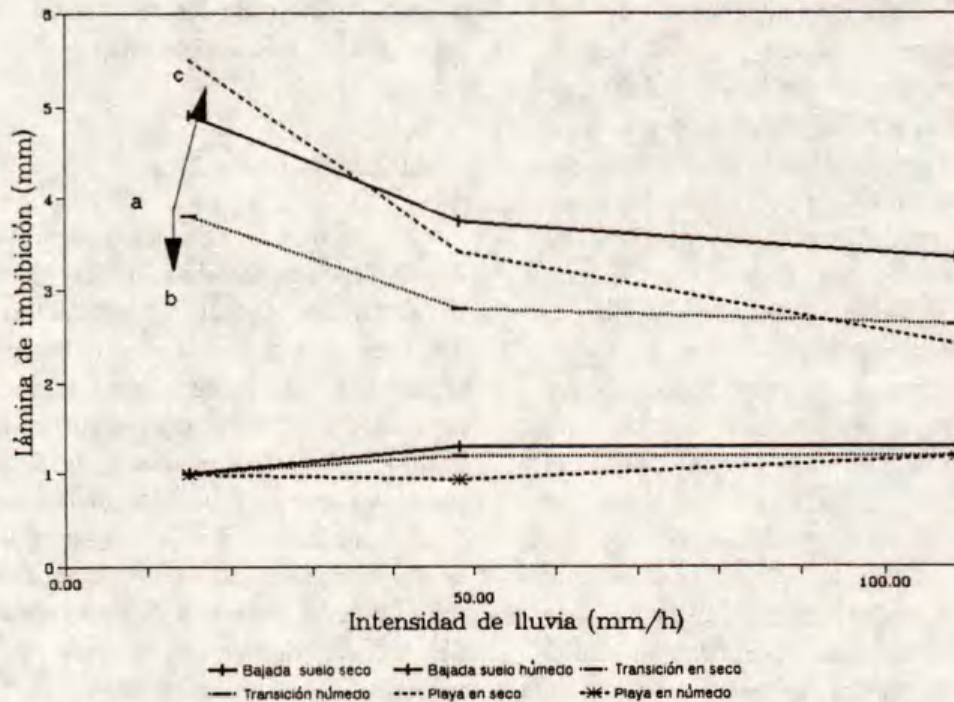


Figura 5. Evolución de la lluvia de imbibición (P_i), en las unidades de estudio para suelo seco y húmedo.

Analizar la secuencia de las unidades conforme a la pendiente del paisaje y a su ubicación, se ve que la lámina de imbibición decrece de la bajada inferior hasta la transición bajada playa (del punto a hasta el b en la Figura 5) y vuelve a incrementarse en la parte más baja del paisaje (punto c de la gráfica); esto si tomamos en cuenta las lluvias para estado seco inicial del suelo. Cuando el suelo está húmedo y la intensidad de lluvia es mínima, no existe variación en el patrón de comportamiento (1, 1, 0.99 mm) (Figura 5).

Coefficientes de infiltración (K_i) y escurrimiento (K_{ru})

Los resultados muestran siempre el efecto de saturación del suelo, por ejemplo en la Figura 6 se observa que para la unidad de bajada inferior el escurrimiento se ve

favorecido cuando el suelo está húmedo, lo contrario a la infiltración, la que se reduce en estas condiciones. La condición de humedad inicial del suelo y las costras superficiales del suelo determinan estas propiedades (Casenave y Valentín, 1989); así lo demostró Desconnets (1990) al aplicar tratamiento de rompimiento de costra la lámina infiltrada aumentó el 40%.

La capacidad de escurrimiento observada fue muy alta, y se incrementó conforme aumentó la intensidad de lluvia. La relación $(K_i, K_{ru})/I_p$, que se presenta en la Figura 6, muestra ese comportamiento hidrodinámico. A nivel de unidades, el escurrimiento se comportó contrariamente a la infiltración. Se observó que el escurrimiento se reduce 3.4% en promedio en la zona de transición bajada playa donde la infiltración aumenta en ese mismo grado.

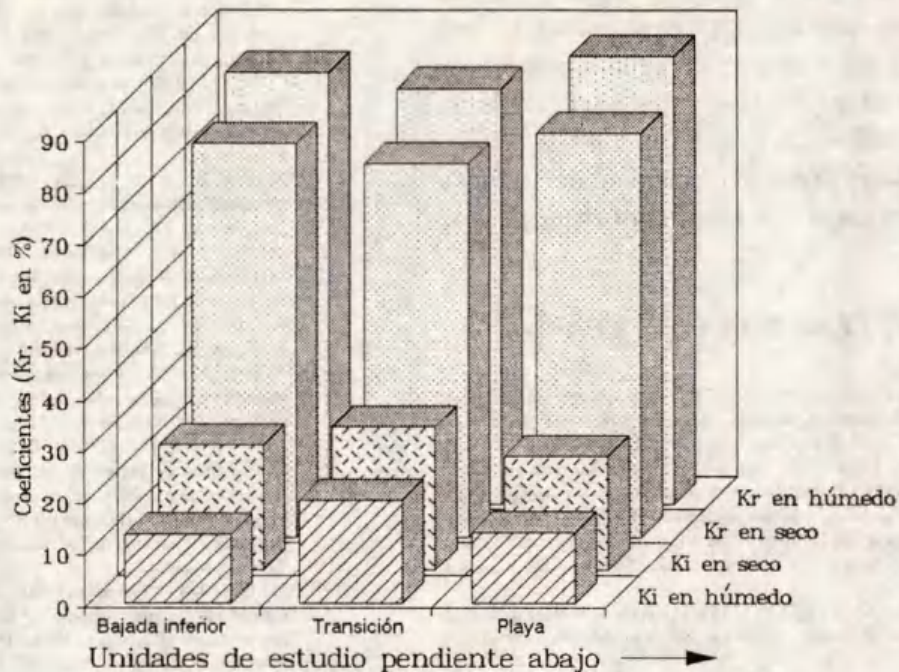


Figura 6. Comportamiento hidrodinámico en los sitios de estudio. Kr = escurrimiento; Ki = infiltración.

CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de caracterizar la hidrodinámica de la zona de bajada inferior, zona de transición bajada-playa y playa de suelos en regiones áridas como la del presente estudio. Las características hidrodinámicas como el escurrimiento y la infiltración pueden determinarse a nivel puntual (1 m^2) con un minisimulador de lluvias como el utilizado en el presente trabajo, por su fácil manejo y su economía de agua. Si se incrementa el número de sitios de estudio, se tendrán suficientes datos para establecer un patrón del comportamiento del agua al llegar al suelo, en zonas áridas, y hacer una extrapolación de la hidrodinámica de estos suelos. Los datos obtenidos indican que las zonas de bajada

inferior y zonas bajas (las de mayor extensión en superficie) tienen grandes aptitudes de escurrimiento (50 a 95%), si se considera que en estas zonas las lluvias más representativas son del tipo tormenta (con intensidades mayores a 40 mm/h). Sin embargo, el grado de infiltración es bajo (5 a 50%), básicamente por el tipo de suelo que se ha desarrollado en estas áreas y por los estados superficiales del mismo. En zonas de pastizal, el escurrimiento es interrumpido, lo que permite una mayor infiltración y un mayor aprovechamiento del agua.

Dado el elevado potencial de escurrimiento que hay en estos suelos, se presenta la siguiente perspectiva: la creación de nuevos retenes naturales, en sitios estratégicos donde el ecosistema no sea

dañado. Dichos retenes deben reunir condiciones particulares para obtener una mayor área de captación de agua y una menor superficie de espejo de agua para evitar la elevada evaporación. Esto último puede preverse con mayor profundidad del retén y tomando en cuenta la infiltración en el suelo.

LITERATURA CITADA

- ASSELIN J. et CH. VALENTIN. 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. p.p. 321-348. Série Hydrologie Vol. XV, No. 4. ORSTOM, Paris, Francia.
- BALLESTEROS T., N. 1990. Topografía. Limusa, México, D.F.
- BARRAL, H. 1988. El hombre y su impacto en los ecosistemas a través del ganado. Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de Mapimí. Montaña C., Edit. I. Ambiente natural y humano, MAB, Instituto de Ecología, Xalapa, México.
- CASNAVE et CH. VALENTIN. 1989. Les états de surface de la zone Sahélienne (Africa). Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Francia.
- DELHOUME J.P. 1988. Distribution spatiale des sols le long d'une toposequence representative. Estudio integrado de los recursos naturales vegetación, suelo y agua, en la reserva de la biosfera de Mapimí. Montaña C., Edit. I. Ambiente natural y humano. Instituto de Ecología. Xalapa, México.
- DESCONNETS, J.C. 1990. Analyses des comportements hydriques de trois parcelles expérimentales implantées en zone basse d'un bassin endoreique. Zone aride du nord Mexique (Reserva de la Biosphere de Mapimí). ORSTOM. Francia. Instituto de Ecología, México.
- GRÜNBERGER, O., V.M. REYES, I. OCHOA CH., J.L. JANEAU. 1992. La sal de un desierto. Memorias del Seminario de Ecología de Ambientes Aridos y Semiaridos, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, México.
- HALFFTER G. 1978. Las reservas de la biósfera en el estado de Durango. Una nueva política de conservación y estudio de los recursos bióticos. Instituto de Ecología de México, Durango, México.
- LAFFORGUE A., et E. NAAH. 1976. Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. pp. 229-234. Serie Hydrologie Vol. XIV.
- MONTAÑA C., R.F. BREIMER. 1988. Major vegetation and environment units of the Mapimí biosphere reserva. Estudio integrado de los recursos vegetación suelo y agua en la Reserva de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. Instituto de Ecología. A.C., Xalapa, México.
- MONTOROL J.P. 1984. Caracterisation hydrodynamique "in situ" de sols alluviaux de la vallée de Katoure (Basse Casamance). I. Sol sableux. ORSTOM. Francia.
- TARIN, T. G., y D. VIRAMONTES. 1990. Inspección a la transferencia de escala de los escurrimientos sobre superficies crecientes por medio de la simulación de lluvias naturales. Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Deleg. Laguna, Torreón, México.
- THIEBE, B. 1984. Hydrodynamique de quelques sols du nord Cameroun Bassins versants de Mouda. Contribution a l'étude des transferts d'échelles. These de Docteur Sciences Naturelles Mention Hydrologie. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Francia.
- VALENTIN, CH., 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de la region subdesertique (Agadez, Niger). Dynamique de formation et consequences sur l'economie de l'eau. These de 3 eme cycle. ORSTOM. Paris, Francia.

USO DE AGUA EN CULTIVARES DE VID DURANTE LA BROTACION Y CRECIMIENTO INICIAL DEL BROTE

Grape Cultivars Water Use Between Bud-burst and Initial Shoot Growth

Claudio Godoy Avila y Ma. Victoria Huitrón R.

CIFAP-Comarca Lagunera, Apartado Postal 247
27000 Torreón, Coahuila

Palabras clave: Uso de agua, Carbohidratos, Coeficiente de cultivo, *Vitis vinifera* L.

Index words: Water use, Carbohydrates, Crop coefficient, *Vitis vinifera* L.

RESUMEN

Durante 1992 y 1993 se llevó a cabo un estudio con el objetivo de cuantificar el agua consumida entre la brotación y la fase inicial del desarrollo del brote y la influencia que tiene sobre este consumo de agua la cantidad de carbohidratos almacenados en el ciclo anterior. Se usaron siete cultivares: Málaga Roja, Cardinal, Queen, Tokay, Grenache, Feher Szagos y Carignane. Se encontró que de 30 a 50% del crecimiento total del brote, que representan valores de 50 a 100 cm de longitud, pueden ser sostenidos en su mayor parte por los carbohidratos almacenados. Durante este período de crecimiento, los valores del coeficiente de cultivo (Kc), así

como el consumo de agua por los diferentes cultivares en los dos años de estudio fue bajo, aun cuando el agua disponible en el suelo se mantuvo cercana a 100%. Se encontró, por un lado, una relación estrecha entre la acumulación de materia seca aérea y el agua consumida durante este tiempo y, por otro lado, la relación entre los carbohidratos en la madera podada y la longitud del brote que se alcanza, antes de que la planta empiece a usar el agua del suelo de una manera intensa, fue altamente significativa.

SUMMARY

An experiment was conducted during 1992 and 1993 to determine water consumption from bud-burst to the initial phase of shoot growth, and the influence of carbohydrates stored during the previous year on water consumption by grape cultivars Malaga Roja, Cardinal, Queen, Tokay, Grenache, Feher Szagos and Carignane. It was found that between 30 and 50% of total shoot growth (50-100 cm in length) can be supported by carbohydrates stored during the previous year.

Recibido 12-94.

Water use and crop coefficient (Kc) values in this phase, in the two years, was low eventhough soil water availability was near 100%. A close relationship was found between aerial dry matter accumulation during this time and water used, and also there was a relationship between carbohydrates in the wood from prunnings and the length of the shoot reached before the plant starts increasing soil water use. This last relationship was highly significant.

INTRODUCCION

En los últimos años, la superficie dedicada al cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) en la Comarca Lagunera ha tendido a la baja: pasó de 7 282 ha en 1983 a 2005 ha en 1992, una reducción de 72.5% en sólo nueve años. Entre otras causas que han originado esta situación; destaca la falta de conocimiento correspondiente al uso y manejo del agua, principalmente en lo que se refiere a los criterios utilizados en la programación de los riegos. La mayoría de los viticultores riegan con base en su experiencia, aplicando un calendario fijo a través del ciclo del cultivo y de los años. Estudios recientes sobre el uso del agua en la vid (Godoy y López, 1990; Kliewer *et al.*, 1983; Matthews *et al.*, 1987; van Zyl, 1985; Winkler *et al.*, 1974) se ha encontrado que el consumo de agua por la planta durante la brotación es reducida a pesar de que se mantiene alta la velocidad de crecimiento de los brotes, y se ha establecido (Richards, 1983; Winkler *et al.*, 1974) que estos dos procesos son sostenidos en su desarrollo y crecimiento por la translocación de los carbohidratos almacenados durante el ciclo de crecimiento inmediato anterior. Sin embargo, se desconoce la cantidad de agua consumida durante estas etapas iniciales de crecimiento y

la posible relación entre los carbohidratos almacenados en el ciclo anterior y la fecha en que la planta empieza a consumir agua en el siguiente ciclo de crecimiento. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue el de determinar la relación existente entre los carbohidratos almacenados durante la estación de crecimiento previa y el inicio del consumo de agua del suelo en siete cultivares de vid.

MATERIALES Y METODOS

El estudio de campo se realizó durante 1992 y 1993 en el Campo Experimental La Laguna, Coahuila, México (24°30' N, 103°40' O); con un diseño completamente al azar con siete cultivares, como tratamientos, con cuatro repeticiones. El material vegetativo usado fue el de una plantación establecida en el año de 1980, libre de enfermedades virosas conocidas. Las distancias de plantación fueron de 3.25 m entre hileras y 1.80 m entre plantas; y los cultivares en estudio fueron: Málaga Roja, Cardinal, Queen, Tokay, Grenache, Carignane y Feher Szagos.

En todos los cultivares y en cuatro repeticiones se colocaron tubos de aluminio para el acceso de la sonda de neutrones. A partir del 2 de marzo y hasta finales de abril, se midió diariamente el contenido de humedad en el suelo en tres profundidades (30, 60 y 90 cm), posteriormente se midió tres veces por semana. Para realizar esta medición se utilizó la sonda de neutrones, previamente calibrada. La evapotranspiración real (Etr) se calculó con la siguiente ecuación:

$$Etr = (A_1 - A_2) (D_s) (P_r)$$

donde:

- E_{tr} = Evapotranspiración real (cm)
 A₁ = Contenido de humedad anterior base peso seco (%)
 A₂ = Contenido de humedad actual base peso seco (%)
 D_a = Densidad aparente (g/cm³)
 P_r = Profundidad radical (cm)

La Evapotranspiración potencial (E_{tp}) se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$E_{tp} = E_o \times K_t$$

donde:

- E_{tp} = Evapotranspiración potencial (cm)
 E_o = Evapotranspiración en el tanque evaporímetro clase "A" (cm)
 K_t = Coeficiente del evaporímetro, el cual considera al medio ambiente que rodea al tanque (Doorenbos y Pruitt, 1975).

El coeficiente de cultivo (K_c) se estimó con la siguiente ecuación:

$$K_c = E_{tr}/E_{tp}$$

donde:

- K_c = Coeficiente de cultivo
 E_{tr} = Evapotranspiración real (cm)
 E_{tp} = Evapotranspiración potencial (cm)

En las cuatro repeticiones de cada cultivar se midió el crecimiento de cada uno de los brotes, para luego obtener el crecimiento medio del brote por planta. Inmediatamente después de la brotación, y en tres fechas posteriores, se realizaron muestreos de toda la

parte aérea de la planta en la que se incluyó al brote, las hojas, los peciolo y la inflorescencia; todo este material se colocó en bolsas de papel para luego ser introducidas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °C durante 72 h para la obtención de su peso seco.

Para la determinación de la cantidad de carbohidratos, en enero de 1992 y 1993, se tomaron aproximadamente diez centímetros de brote en las cuatro plantas por cultivar a las cuales se les registró su peso fresco. Posteriormente se estimó su peso seco, con la misma metodología utilizada para el caso del peso seco aéreo. Las muestras secas se molieron en un molino de aspas de acero inoxidable y se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis químico.

Las muestras se incubaron a 37°C en ácido perclórico a 40% durante 24 horas para solubilizar el almidón y hacer posible la determinación de glucosa. Esta se determinó con el método colorimétrico de antrona de McCready *et al.* (1950) modificado por Dowler y King (1966) para tejidos leñosos. El extracto resultante de la incubación se clarificó con carbon activado. Para inducir la formación del color, se colocó en baño de maría una alícuota con el reactivo de antrona disuelto en ácido sulfúrico. La concentración se determinó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 625 nm y los valores equivalentes de glucosa se estimaron mediante una curva estándar con concentraciones conocidas de este carbohidrato.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Figuras 1 y 2 se presentan las curvas de abatimiento de la humedad del suelo para el cultivar Carignane, el cual tiene el

mismo comportamiento en brotación (8 de marzo) y floración (4 de abril) que los cultivares Cardinal, Feher Szagos, Grenache y Queen; y para Málaga Roja, que tiene un comportamiento similar que Tokay, los cuales presentan un retraso de 5 días en el inicio de la brotación y la floración, en comparación con los cultivares arriba mencionados. Es necesario mencionar que tanto el inicio de la brotación como el de la floración se adelantaron alrededor de 4 días en 1993, en comparación con 1992. Se observa en estas dos figuras que, desde antes de la brotación y hasta el inicio de ésta, la extracción de la humedad en los tres estratos de suelo por los diferentes cultivares y en los dos años de estudio fue casi cero. Por otro lado, en el período comprendido desde el inicio de la brotación al inicio de la floración, se pudo observar que en el estrato de 0 a 30 cm, la extracción de humedad del suelo inició poco después de la aplicación del riego (Figuras 1 y 2). Durante 1993, la velocidad de extracción de la humedad del suelo por todos los cultivares, fue mayor que en 1992 (Cuadro 1), esta diferencia se atribuyó principalmente a

la demanda evaporativa. Por otro lado, en este mismo período en los estratos de 30 a 60 y de 60 a 90 cm, la extracción de humedad del suelo fue casi nula, aun cuando el agua disponible fue muy alta. Este comportamiento fue similar entre cultivares y entre años. Se encontró, que el consumo de agua en los siete cultivares fue de 1.38 a 3.17 cm para el año de 1992 y de 1.88 a 3.84 cm para 1993 (Cuadro 1), variaciones que pudieron deberse a las diferencias en la demanda evaporativa. Los cultivares que consumieron más agua en este período y durante los dos años de estudio fueron Grenache, Cardinal y Queen, debido a que tienen un sistema radical más activo (Godoy y López, 1990), mientras que Feher Szagos, aun cuando brota en la misma fecha que estos tres cultivares, fue de los que menos consumo tuvieron. Se desconocen los porcentajes consumidos por transpiración y por evaporación directa; se piensa que por las características de los cultivares y el patrón de extracción de la humedad del suelo ya discutidos, la evaporación directa es significativa.

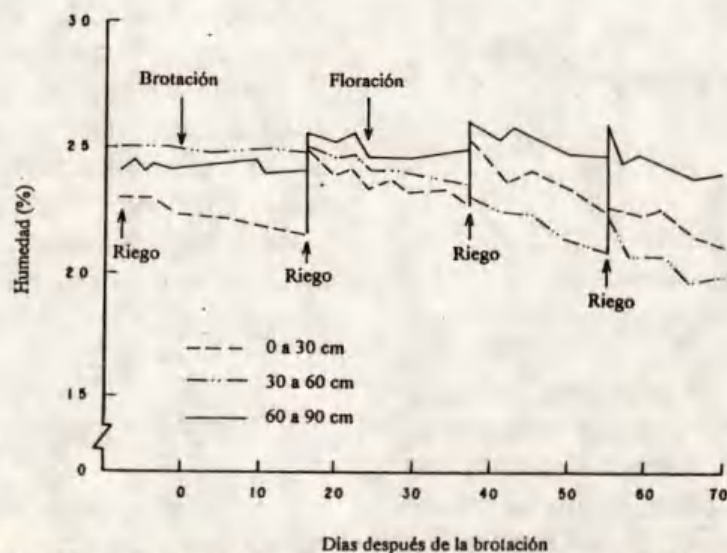


Figura 1. Variación en el contenido de la humedad del suelo para el cultivar Carignane.

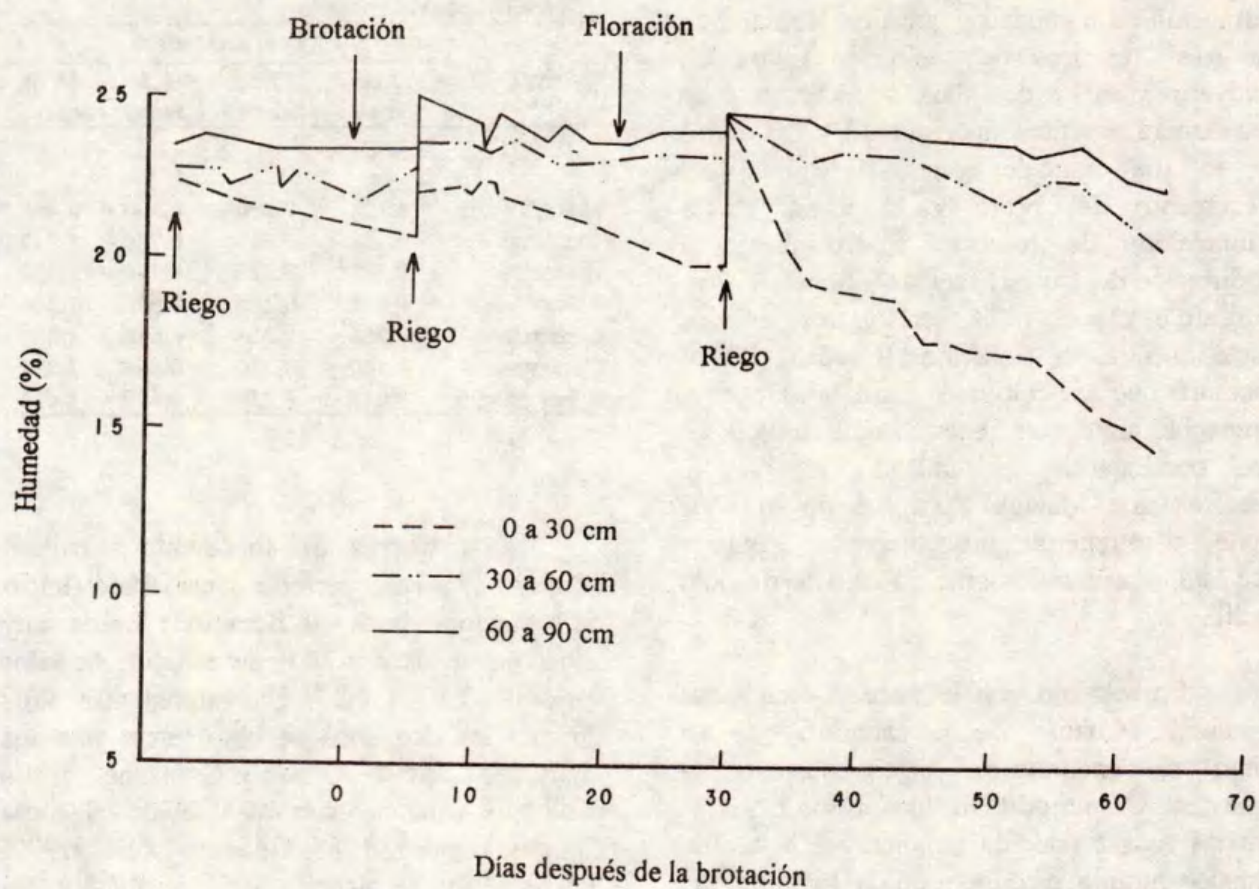


Figura 2. Variación en el contenido de la humedad del suelo para el cultivar Málaga Roja.

Cuadro 1. Consumo de agua en cuatro periodos diferentes en siete cultivares de vid en la Comarca Lagunera.

Cultivar	Consumo de agua (cm)				
	Período ¹		3 al 17 de abril	18 de abril al 4 de mayo	5 al 18 de mayo
Málaga Roja	2.00	2.76	3.67	1.76	3.75
Cardinal	2.92	3.50	3.85	4.25	9.51
Queen	3.03	3.57	3.48	4.95	11.20
Tokay	1.90	2.63	2.84	2.64	8.38
Grenache	3.17	3.84	3.90	3.48	8.67
Carignane	2.23	2.99	2.92	4.19	8.50
Fehér Szagos	1.38	1.88	2.35	5.25	12.03

1) Inicio de brotación-inicio de floración

Después de la floración y hasta la maduración del racimo, la velocidad de extracción de humedad y consumo de agua en los tres estratos de suelo, en todos los cultivares y en los dos años, se incrementó de una manera significativa (Figuras 1 y 2; Cuadro 1), lo que coincide con la fase final del crecimiento del brote y el inicio en la acumulación de reservas y crecimiento y maduración del fruto (Freeman y Smart, 1976). Durante el año de 1993 y en los tres periodos posteriores a la floración (Cuadro 1), se encontró que los cultivares Cardinal, Queen y Grenache, junto con Feher Szagos, fueron los que continuaron consumiendo más agua, mientras que Málaga Roja fue de los que menos consumieron, probablemente debido a que está considerado como un cultivar de ciclo tardío.

En relación con la materia seca aérea producida (Cuadro 2), se encontró que así como se encontraron bajos consumos de agua en el periodo brotación-floración, la materia seca producida también fue baja, aun cuando durante este periodo la longitud del brote había alcanzado de 30 a 50% de su crecimiento final. Asimismo, se encontró una relación estrecha entre estas dos variables; es decir, cultivares como Cardinal, Queen, Grenache y Feher Szagos, los que consistentemente consumieron más agua, también produjeron más materia seca aérea. En el último muestreo se encontró que la proporción del peso seco del fruto con relación al peso seco total aéreo fue de 40% para Cardinal y Carignane, 26% para Queen, 17% para Feher Szagos y Grenache, 10% para Tokay y solamente 5% para Málaga Roja. Lo anterior confirma el porqué este último cultivar presenta los valores más bajos de producción de materia seca y de consumo de agua, hasta esta última fecha de muestreo.

Cuadro 2. Dinámica de acumulación de peso seco aéreo en cuatro fechas de muestreo en siete cultivares vid.

Cultivar	Peso seco aéreo			
	2 de abril	17 de abril	4 de mayo	18 de mayo
	----- kg -----			
Málaga Roja	0.128	0.350	0.500	0.805
Cardinal	0.161	0.400	0.750	1.540
Queen	0.125	0.325	0.740	1.700
Tokay	0.149	0.295	0.525	1.246
Grenache	0.154	0.325	0.630	1.350
Carignane	0.100	0.270	0.610	1.327
Feher Szagos	0.024	0.150	0.570	1.622

Los valores del coeficiente de cultivo (Cuadro 3) para el periodo considerado (inicio de brotación - inicio de floración) fueron muy similares en los dos años de estudio, su valor varió de 0.10 a 0.23; los valores más altos durante los dos años se obtuvieron para los cultivares Cardinal, Queen y Grenache. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros estudios (Godoy, 1988; Godoy y López, 1990; Kotzé, 1984; Terblanche, 1981; van Zyl y van Huyssteen, 1984; van Rooyen, 1980). Cabe resaltar que estos valores de Kc son muy bajos, lo cual refleja un bajo uso del agua por la vid durante este periodo.

En la Figura 3 se muestra la relación entre la cantidad de carbohidratos en la madera podada y la longitud del brote que se alcanza antes de que la planta empiece a usar el agua del suelo de una manera más intensa. Esta relación fue altamente significativa ($r^2 = 0.60^{**}$) y significa que a medida que se incrementa la cantidad de carbohidratos almacenados de la madera, mayor es la longitud de brote que puede alcanzar. Es decir, a medida que las reservas de la planta sean más altas, el tiempo a partir del cual se

intensifica el consumo de agua disponible del suelo, será más largo y, por consiguiente, la longitud de brote que soportará será mayor. Por el contrario, las plantas con bajo contenido de reservas iniciarán más pronto el consumo de agua y en consecuencia la longitud de brote que pueden sostener será menor. Esta relación

(Figura 3) puede mejorarse notablemente si se considera la aportación realizada por las hojas cuando alcanzan de 1/3 a la 1/2 de su tamaño final, que es cuando más carbohidratos se exportan que los que esta misma hoja importa, lo cual contribuye al crecimiento (Kliewer, 1981).

Cuadro 3. Evapotranspiración real, evaporación y coeficiente de cultivo, para el período comprendido del inicio de brotación al inicio de floración, en siete cultivares de vid.

	Etr ¹		Evaporación		Kc ²	
	1992	1993	1992	1993	1992	1993
	----- cm -----		----- cm -----			
Málaga Roja	2.00	2.76	13.9	18.5	0.14	0.15
Cardinal	2.92	3.50			0.21	0.19
Queen	3.03	3.57			0.22	0.19
Tokay	1.90	2.63			0.14	0.14
Grenache	3.17	3.84			0.23	0.21
Carignane	2.23	2.99			0.16	0.16
Feher Szagos	1.38	1.88			0.10	0.10

¹Evapotranspiración real; ²Coefficiente de cultivo.

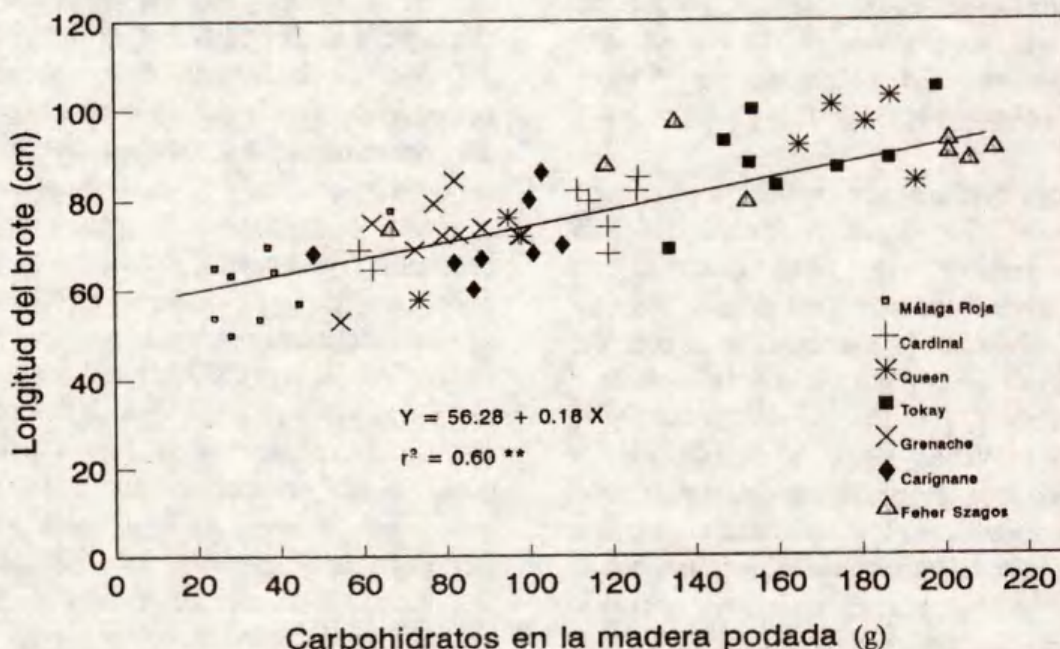


Figura 3. Relación entre carbohidratos de la madera podada y la longitud del brote de la vid en los dos años de estudio.

DISCUSION

Freeman y Smart (1976), Winkler *et al.* (1974) y Godoy y López (1990) establecieron que los carbohidratos almacenados por la planta en el ciclo anterior, pueden sostener alrededor de la mitad del crecimiento en extensión anual. En el presente estudio se encontró que de 30 a 50% del crecimiento total del brote, valores de 50 a 100 cm de su longitud, pueden ser sostenidos por los carbohidratos almacenados y durante este tiempo el consumo de agua por los diferentes cultivares y en los dos años de estudio es bajo, aun cuando en el suelo el agua disponible presente en los estratos inferiores (30 a 60 y 60 a 90 cm) era cercano a 100%. La producción de materia seca y el consumo de agua durante este y los otros periodos, ya discutidos anteriormente, se comportaron como dos procesos altamente correlacionados; es decir, aquellos cultivares como Cardinal, Queen, Grenache y Feher Szagos, que fueron los que consumieron más agua, también produjeron más materia seca aérea. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Vaadia (1986), Tanner (1981) y Walker (1986).

Por otro lado, aun cuando ya se conoce el consumo de agua a través de la evapotranspiración real (Etr) durante este periodo, se desconoce cuanta de esta agua se pierde a través de la evaporación directa del suelo (Eo) y cuanta por consumo de la planta o transpiración (T). Existen evidencias (van Huyssteen y Weber, 1980a; b) de que durante este periodo la evaporación del suelo es el factor predominante en el uso del agua a través de la Etr; por tal razón puede pensarse que el consumo de agua por los diferentes cultivares durante su fase de crecimiento inicial es muy bajo y que la mayor parte de la humedad contenida en el estrato de 0 a 30 cm, se pierde

principalmente por evaporación directa del suelo y una menor parte por la transpiración de la planta. Lo anterior ocasiona que los valores de Kc durante este periodo sean muy bajos y similares a los encontrados por van Rooyen (1980) y Godoy y López (1990). En relación con lo anterior, existen evidencias (Kliwer *et al.*, 1983; Matthews *et al.*, 1987; van Zyl, 1984) de que durante los primeros 30 a 40 días después de la brotación no existen diferencias en la tasa de elongación del brote (cm/día) en vides sometidas a un intervalo de 25 a 90% de la humedad disponible para la planta (HDP); después de este periodo, esta tasa de crecimiento fue estadísticamente superior en los tratamientos con un alto nivel de aplicación de agua. Cabe señalar que en estos estudios, la extracción de la humedad del suelo y el uso del agua durante este periodo no se midieron.

Todo lo discutido anteriormente indica que en la medida en que la planta de vid almacene más carbohidratos, el tiempo a partir del cual se intensifica el consumo de la humedad disponible del suelo será más largo y, por consiguiente, la longitud del brote que soportará será mayor; esto significa que el consumo de agua por la planta durante la brotación, crecimiento inicial del brote y un poco antes de la floración es bajo, por lo que es posible durante estos estados, aplicar menos riegos, con el propósito de no desperdiciar el agua y al mismo tiempo reducir los costos del riego. Algunas de manejar bajas cantidades de agua durante este periodo son, además de que se controla el vigor de la cubierta vegetal, el permitir aplicaciones más eficiente de insecticidas y obtener alta calidad de fruta con menor uso de mano de obra y materiales, lo cual mejora el margen de ganancia (Pompilio, 1993).

LITERATURA CITADA

- DOORENBOS, J., and W.O. PRUITT. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO. Rome, Italy.
- DOWLER, W.M., and F.D. KING. 1966. Seasonal changes in starch and soluble sugar content of dormant peach tissues. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 89: 80-84.
- FREEMAN, B.M., and R.E. SMART. 1976. A root observation laboratory for studies with grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 27: 26-39.
- GODOY A., C. 1988. Alternativas y estrategias para eficientar el uso y aprovechamiento del agua para la vid en la Comarca Lagunera. Torreón, Coah. México. 1er. Ciclo Internacional de Conferencias sobre Viticultura. 1-15.
- GODOY, A.C. e I. LOPEZ M. 1990. Uso de agua de la vid (*Vitis vinifera* L.) durante la brotación y crecimiento del brote. ITEA 2: 75-86.
- KLIEWER, W.M. 1981. Grapevine physiology. How does a grapevine make sugar? Division of Agricultural Sciences. University of California. Leaflet 21231: 1-13.
- KLIEWER, W.M., B.M. FREEMAN, and C.H. HOSSOM. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. I. Degree of water stress and effect on growth and yield. Am. J. Enol. Vitic. 34: 186-196.
- KOTZE, W.A.G. 1984. Irrigation scheduling for deciduous fruit with the aid of class A pan evaporation and controlled by means of tensiometer. Deciduous Fruit Grower, January: 23-26.
- MATTHEWS, M., M. ANDERSON, and H.R. SHULTZ. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficit in Cabernet Franc. Vitis. 26: 147-160.
- McCREADY, R.M., J. GUGGOLZ, V. SILVEIRA, and H.S. OWENS. 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. Anal. Chem. 22: 1156-1158.
- POMPILIO, R. 1993. Can irrigation help growers manage canopies? Vineyard and Winery Management 19(6): 48-51.
- RICHARDS, D. 1983. The grape root system. Horticultural Review. 5: 127-168.
- TANNER, C.B. 1981. Transpiration efficiency of potato. AgroN. J. 73: 59-64.
- TERBLANCHE, J.H. 1981. The latest findings with regards to irrigation and fertilization of table grapes. The Deciduous Fruit Grower, October: 396-401.
- VAADIA, Y. 1986. The impact of plant stress on crop yield. pp. 38-42. In: Memorias del Simposio sobre Sequía. México-Israel. Pabellon, Aguascalientes, México.
- VAN HUYSSTEEN, L., and H.W. WEBER. 1980a. Soil moisture conservation in dryland viticulture as affected by conventional and minimum tillage practices. S. Afr. J. Enol. Vitic. 1: 67-72.
- VAN HUYSSTEEN, L., and H.W. WEBER. 1980b. The effect of selected minimum and conventional tillage practices in vineyard cultivation on vine performance. S. Afr. J. Enol. Vitic. 1: 77-86.
- VAN ROOYEN, F.C. 1980. The water requirements of table grapes. The Deciduous Fruit Grower, March. 100-105.
- VAN ZYL, J.L. 1985. Response of Colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. S. Afr. J. Enol. Vitic. 5(1): 19-28.
- VAN ZYL, J.L., and L. VAN HUYSSTEEN. 1980. Comparative studies on wine grapes on different trellising systems. I. Consumptive water use. S. Afr. J. Enol. Vitic. 1: 7-14.
- WALKER, G.K. 1986. Transpiration efficiency of field-grown maize. Field Crop Res. 14: 29-38.
- WINKLER, A.J., J.A. COOK, W.M. KLIEWER, and L.A. LIDER. 1974. General viticulture. University of California Press, California, USA.

AISLAMIENTO E INOCULACION DE *Azospirillum* sp. EN MAIZ EN INVERNADERO

Insolation of *Azospirillum* sp. and its Inoculation to Corn in the Greenhouse

E. Espinosa A., J. Venegas G., R. Quintero S. y E. Martínez B.

CIIDIR-IPN-U-MICH

Justo Sierra No. 28, 59510 Jiquilpan, Mich., México

Palabras clave: *Azospirillum*, Fijación de nitrógeno, Nitrógeno, Maíz, Ciénega de Chapala.

Index words: *Azospirillum*, Nitrogen fixation, Nitrogen, Marshland of Chapala, Corn.

RESUMEN

Azospirillum es una bacteria fijadora de nitrógeno atmosférico que se asocia con algunas gramíneas como el maíz, por lo que en el presente trabajo se planteó conocer su incidencia en maíz H-303 en la Ciénega de Chapala y determinar sus efectos sobre el cultivo en invernadero. Se muestrearon seis localidades de la Ciénega de Chapala: Cumuatillo, Jiquilpan, Emiliano Zapata, San Gregorio, La Palma y Cuatro Esquinas, para determinar la población de *Azospirillum* sp. en el maíz, se aislaron e identificaron las cepas, 10 de ellas se utilizaron en un experimento en invernadero con tres niveles de nitrógeno. Se empleó un diseño completamente al azar

con cuatro repeticiones. Las variables consideradas fueron: peso de raíces y follaje, así como nitrógeno foliar. Los tratamientos con *Azospirillum* sp. alcanzaron mayor peso de raíces que el testigo y los tratamientos con nitrógeno, pero entre las cepas de la bacteria no hubo diferencias en cuanto a peso de raíces ni en contenido de nitrógeno. Los tratamientos con *Azospirillum* sp. superaron en rendimiento total al de 120 kg de N ha⁻¹, pero fueron iguales a los de 60 y 90 kg de N ha⁻¹. El tratamiento de 60 kg de N ha⁻¹ + *Azospirillum* sp. superó en rendimiento de raíces las dosis superiores combinadas. La concentración de nitrógeno en el follaje de maíz-H303 tuvo el mismo efecto con cualquiera de las dosis de nitrógeno, solas o combinadas con la bacteria.

SUMMARY

Azospirillum is an atmospheric nitrogen fixing organism which associates itself with some gramineous crops like corn. The objective of this work was to gather information on *Azospirillum* incidence on corn H-303 at the Cienega de Chapala and to determine the effects of the bacterium on maize in the greenhouse. Six locations within

Recibido 12-93.

the Ciénega of Chapala were sampled; Cumuatillo, Jiquilpan, Emiliano Zapata, San Gregorio, La Palma y Cuatro esquinas, to determine the populations of *Azospirillum* associated with corn. Ten of the linages were used in one experiment with three levels of nitrogen in the greenhouse. The design used was a completely randomized with four replications. The variables considered were: root weight, foliage weight and foliar nitrogen. Treatments with *Azospirillum* showed a higher root weight than the check and nitrogen treatments; but within linages of the bacterium there were no differences in root weight or nitrogen content. Treatments with *Azospirillum* outyielded the 120 kg N ha⁻¹, but were equal to treatments of 60 and 90 kg N ha⁻¹. The 60 kg N ha⁻¹ treatment plus *Azospirillum* showed a higher root weight than the rest of the doses of N. Nitrogen concentration in the leaves of H-303 was almost the same with any of the doses of N, either alone or combined.

INTRODUCCION

El nitrógeno es el nutrimento que las plantas absorben en mayores cantidades, consecuentemente, en la mayoría de los suelos representa una limitación para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento, por lo cual los productores agrícolas se ven obligados a aplicar fertilizantes químicos orgánicos e inorgánicos para subsanar este problema, incrementando el costo de producción de los cultivos.

La atmósfera terrestre es el reservorio natural inagotable de nitrógeno para las plantas, sin embargo, es necesaria su oxidación para que pueda ser aprovechado por éstas; dicha oxidación en condiciones naturales se da a través de las tormentas eléctricas así como de

la fijación biológica mediante la acción de algunas bacterias, cianofíceas (*Anabaena*, *Nostoc*, *Cylindrospermum*, *Tolypothrix*, *Calothrix* y *Richelia*), hongos, líquenes y helechos (*Azolla*) (Margalef, 1974).

Entre las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, existen las simbióticas (*Rhizobium*) que se asocian con las leguminosas, y las de vida libre, algunas fotosintéticas como *Rhodospirillum*, la heterótrofa anaeróbica *Clostridium* y la heterótrofa aeróbica *Azotobacter*. En las últimas décadas se ha descubierto que algunas bacterias se asocian simbióticamente con las raíces de varias gramíneas, entre las que podemos encontrar a *Beijerinckia*, *Derrisia* y *Azospirillum* (Havelka *et al.*, 1982; Marcos y Rodríguez, 1981; Palacios, 1982).

En varias ocasiones se han encontrado incrementos de nitrógeno en los suelos, incrementos que no tienen una explicación lógica; se ha supuesto que existe una asociación especializada entre microorganismos fijadores de nitrógeno y gramíneas como el maíz, trigo y pastos tropicales; se considera a *Azospirillum* responsable de tales incrementos.

Por lo antes expuesto, se procedió a realizar una investigación con el objetivo de conocer la incidencia de *Azospirillum* en el maíz H-303 en seis localidades de la Ciénega de Chapala y determinar los efectos que tiene la bacteria sobre el crecimiento de este cultivo en invernadero.

Azospirillum fue descrita por Beijerinck y clasificada como *Spirillum*, Tarrand *et al.* (1978), la aislaron de suelos y raíces de pastos tropicales. Esta bacteria no forma nódulos como *Rhizobium*, sino que vive en la rizósfera

y endodermis de la raíz; penetra en los espacios intercelulares e invade los tejidos cortical y epidérmico de la misma. Es capaz de fijar nitrógeno atmosférico, ya sea como organismo de vida libre o en asociación con raíces de algunas plantas.

Estudios de inoculación de diversos cultivos con *Azospirillum* han demostrado incrementos en el rendimiento de forraje (Nur *et al.*, 1980b), grano (Reynders y Vlassak, 1982) y en el contenido de nitrógeno (Pal y Malik, 1981); sin embargo, en algunos experimentos se ha encontrado o nula respuesta a la inoculación con *Azospirillum* (Nur *et al.*, 1980 a).

Okon y Hadar (1987) encontraron que la inoculación de sorgo, trigo y maíz, con 10^6 a 10^7 células de *Azospirillum* por planta, mostró un efecto marcado sobre la morfología, proliferación, área de exploración, bifurcación y desarrollo general del sistema radical, mejoró la absorción de agua y minerales. Dichos autores atribuyeron los efectos benéficos de *Azospirillum* sobre el rendimiento a las hormonas o enzimas pectinolíticas y, en menor proporción, a la fijación biológica de N.

Es común que durante la inoculación se empleó una cepa de *Azospirillum* conocida, que recibe el nombre de testigo o de referencia (Bashan y Levanoni, 1985).

Bashan (1986) comenta que el número de bacterias disminuye rápidamente después de la inoculación y que la pobre sobrevivencia de las células es el problema más serio que confronta la tecnología de inoculantes.

Los exudados de las raíces muestran efectos específicos en el número y especie de microorganismos que predominan en el suelo

(Hubbell y Gaskins, 1984), de tal modo que el éxito de la inoculación depende del movimiento de la bacteria hacia la raíz (Bashan y Levanony, 1985) hasta estabilizarse por completo a nivel bajo. La fijación de N se inicia dos semanas después del crecimiento vegetativo (Monzón, 1983).

Pereira *et al.* (1988), al trabajar en campo con sorgo y arroz con el objeto de conocer el establecimiento y los efectos de *Azospirillum* spp., observaron que las cepas de *A. lipoferum* S82 se establecieron en los cultivares de sorgo empleados y variaron entre 40 y 80% de la población de *Azospirillum* spp. en las raíces y tallos 60 días después de la emergencia, para bajar a 30% un mes después. Las cepas de *A. amazonense* S91 se extendieron sólo en 50% y se mantuvieron constantes tanto en tallos como en raíces. La inoculación con las cepas S82, Am S91 y S65 incrementó el peso de materia seca en ambos cultivos y el nitrógeno total del grano en el sorgo.

En arroz, *A. lipoferum* A1 121 y *A. Brasilense* SP245 se establecieron en las raíces pero no hubo incremento en el número de *A. Spp.* Debido a la inoculación, ninguna de las cepas afectó el crecimiento de las plantas o rendimientos de grano de arroz. *A. amazonense* y *Herbaspirillum seropedicae* Z95 no se establecieron en las raíces, pero intensificaron la germinación significativamente.

Fallik *et al.* (1988), de un trabajo de investigación en el que estudiaron el efecto que tienen el contenido de materia orgánica, el número de bacterias en la rizósfera y la fecha de inoculación sobre el crecimiento de las raíces de maíz inoculadas con *Azospirillum*, concluyeron que el área superficial de las raíces

de las plántulas de maíz fue el criterio más confiable en la evaluación y medida de la respuesta en rendimiento del maíz inoculado; la concentración óptima del inóculo para incrementar el área superficial radical fue de 10^7 unidades formadoras de colonias (UFC) por planta. No se observaron diferencias cuando el maíz se inoculó en preemergencia, postemergencia o con la combinación de ambos tratamientos. Una alta concentración de *Pseudomonas* (10^8 UFC) por gramo de arena, disminuyó la influencia de *Azospirillum* sobre el área superficial de las raíces. La bacteria no contribuyó al incremento del área superficial radical una vez que la materia orgánica se mezcló con la arena excedida en 1%, pero ésta juega un papel importante para los microorganismos asociados con las plantas en la rizósfera; sus altas concentraciones (2 a 4%) incrementan los rendimientos de grano y peso seco del follaje e intensifican el desarrollo del sistema radical y la rizósfera, lo cual puede afectar la habilidad competitiva del inoculante.

Arsac *et al.* (1990), estudiaron la especificidad de cepas de *Azospirillum lipoferum* e híbridos de maíz, para lo cual condujeron pruebas de germinación y experimentos en macetas. Encontraron diferencias significativas entre los genotipos de maíz y que el nivel óptimo de concentración bacteriana fue de 107 bacterias por planta. También encontraron que la inoculación temprana es muy importante para la manifestación de los efectos y que los experimentos en macetas fueron menos precisos que las pruebas de germinación.

Valtierra (1992) estudió la respuesta de los componentes del rendimiento del sorgo a la inoculación de cepas de *Azospirillum*, concluyó que el rendimiento de grano de sorgo variedad Master Gold se incrementó con la inoculación

de algunas cepas de *Azospirillum*, pero que las respuestas fueron variables en diferentes etapas del desarrollo del cultivo, por ejemplo, la cepa de referencia proveniente de Brasil, Sp-7, incrementó el peso fresco de la planta en anthesis y el peso seco del tallo en grano lechoso y produjo un incremento de grano de 89 y 121% superior al testigo absoluto y al fertilizado; la cepa VS-1 incrementó la altura y el área foliar a los 20, 40 y 60 días de crecimiento así, como el peso seco de la panoja en grano lechoso; la cepa VS-9 indujo un mayor diámetro de la panoja.

Se ha señalado que un alto contenido de agua estimula una mayor actividad de la nitrogenasa (Vose, 1983) la cual se inhibe con nitrógeno inorgánico y orgánico (Rao y Venkateswarlu, 1982). Kapulnik *et al.* (1981) reportaron que durante el período vegetativo comprendido entre 45 y 65 días, la fijación de N en gramíneas fue aproximadamente de 5 mg, en tanto que Dobereiner (1983) indica que el N total incorporado a la planta fluctúa entre 10 y 30%.

Tien *et al.* (1979) indicaron que *Azospirillum* produce sustancias reguladoras (ácido indolacético, giberelinas, citocininas) en la zona radical que incrementa la tasa de crecimiento de la raíz, mejoran el rendimiento y, en algunos casos, actúan en el control biológico de patógenos.

Vose (1983) enfatiza que el principal efecto de la inoculación se debe a la estimulación hormonal del crecimiento radical que guía a la planta a explorar un volumen mayor de suelo.

Jain y Patriquin (1985) mencionan que incrementos substanciales del rendimiento se presentan en gramíneas cuando se inoculan con

Azospirillum, aunque los resultados no son lo suficientemente consistentes para garantizar su uso comercial.

Kapulnik *et al.* (1981), mencionan que la inoculación de maíz y *Setaria italica* con cepas de *A. brasilense* en invernadero, produjo un incremento constante en el peso seco de la planta y en el contenido de N total en los tallos.

Respecto a la presencia de N aplicado como fertilizantes durante la inoculación de *Azospirillum*, Jain y Patriquin (1985) señalan que la mejor respuesta del rendimiento se obtiene a niveles intermedios. Por el contrario, Hubbel y Gaskins (1984) y Tien *et al.* (1979) señalan un aumento significativo de materia seca en trabajos de invernadero y de campo, respectivamente, al usar niveles altos de N.

El N proveniente de la mineralización de la materia orgánica, de la precipitación y de las sales de amonio o nitrato, afectan la fijación biológica de N (Vose, 1983), por lo que la ausencia de N favorece el crecimiento de *Azospirillum* y otras bacterias benéficas (Hubbell y Gaskins, 1984).

En este artículo se reportan los resultados de una investigación realizada con 10 cepas de *Azospirillum* asociadas con el maíz, nativas de la Ciénega de Chapala, y su asociación con tres dosis de nitrógeno (60, 90 y 120 kg ha⁻¹), en todas sus combinaciones y en comparación con un testigo absoluto.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se desarrolló en suelos de la Ciénega de Chapala en tres etapas: campo, laboratorio e invernadero.

Etapa de campo

Se muestrearon seis localidades de la Ciénega de Chapala: Cumuatillo, Jiquilpan, Emiliano Zapata, San Gregorio, La Palma y Cuatro Esquinas, en las cuales se tomó una muestra de rizósfera y raíz de dos plantas de maíz H-303. La zona está localizada en la parte noroccidental del estado de Michoacán, entre los meridianos 102°22'00" y 103°02'52" de longitud oeste y los paralelos 19°51'51" y 20°21'00" de latitud norte; a una altura de 1523 m sobre el nivel del mar; con un clima (A)C(Wo)(w), o sea, templado subhúmedo con lluvias en verano; la precipitación promedio de 10 años es de 740.4 mm; la temperatura media de 10 años varía de 15.4 a 22.6 °C; los suelos son arcillosos del tipo Vertisol pélico.

Etapa de laboratorio

Azospirillum se aisló, purificó e identificó de acuerdo con las metodologías de Valdez (1982) y Dobereiner (1979). El nitrógeno del follaje de las plantas de maíz del experimento en invernadero se determinó por el método Kjeldhal.

Etapa de invernadero

Se estableció un experimento con las cepas aisladas para determinar el efecto de *Azospirillum* sobre el desarrollo de las plantas de maíz.

Material experimental

Se probaron 10 cepas de *Azospirillum*, aisladas de seis localidades de la Ciénega de Chapala y tres dosis de nitrógeno (60, 90 y 120 kg N ha⁻¹) en maíz H-303.

Con las cepas se prepararon 10 inoculantes que se obtuvieron con turba estéril neutralizada con CaCO_3 en proporción 1:1, mezclada con el caldo bacteriano, con una población aproximada de 108 bacterias mL^{-1} . El inoculante se preparó con 70% de humedad y se dejó madurar a 32 °C durante cinco días. En cada maceta con 4 kg de suelo y humedad a capacidad de campo, se depositaron cuatro semillas de maíz H-303 inoculadas con las cepas, a excepción del testigo (no fertilizado ni inoculado) y de los controles con 60, 90 y 120 kg de nitrógeno ha^{-1} .

Fertilización

A los 15 días de la emergencia se fertilizó; se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo (60 kg P_2O_5 ha^{-1}), la otra mitad del nitrógeno se aplicó 15 días después.

Cosecha

Se realizó 60 días después de la siembra, se cortaron las plantas a nivel del suelo y, junto con las raíces, se secaron a peso constante.

Diseño experimental

Se estableció un experimento en macetas bajo un arreglo factorial con distribución completamente al azar con 44 tratamientos y cuatro repeticiones, se consideraron las dosis de nitrógeno y cepas de *Azospirillum* como variables.

Análisis estadístico.

Se utilizó el análisis de varianza con contrastes ortogonales para comparar grupos de tratamientos y así determinar si hubo diferencias entre el testigo absoluto, los tres

niveles de nitrógeno, el origen y el tipo de 10 cepas de *Azospirillum*.

RESULTADOS Y DISCUSION

En relación con la incidencia de *Azospirillum* en las localidades estudiadas, las poblaciones variaron de 2500 a 4500 bacterias por gramo de raíz de maíz; la mayor incidencia de este microorganismo se encontró en las localidades de San Gregorio, Cuatro Esquinas y Emiliano Zapata, de los municipios de Pajacuarán, Venustiano Carranza y Villamar, Mich., respectivamente. Las cepas predominantes fueron la CM11, CM12 y CM15 (Cuadro 1).

En cuanto al peso seco de raíces y follaje así como al contenido de nitrógeno foliar del maíz, en el Cuadro 2 se presenta la significancia estadística para cada uno de los contrastes estudiados que en general incluyen: un testigo absoluto, 10 cepas bacterianas, tres dosis de nitrógeno y la combinación de las cepas y dosis de nitrógeno.

En el Cuadro 3 se presentan los rendimientos, en peso seco, de raíz, follaje y el contenido de nitrógeno foliar (%).

El testigo absoluto fue superado por el grupo de tratamientos con cepas de *Azospirillum*, lo cual indica que las dosis de nitrógeno no contribuyeron en el peso de las raíces, sino que al contrario, las afectó negativamente al igual que a la bacteria, pues en general los rendimientos de los tratamientos con nitrógeno quedaron por debajo del testigo absoluto y de los tratamientos con la bacteria. Lo antes mencionado se confirma con la observación directa de las raíces, donde se manifestó el efecto negativo del Nitrógeno con

un escaso desarrollo; por lo que su peso no superó al testigo ni a los tratamientos con la inoculación.

Al comparar las cepas de *Azospirillum* contra el testigo y los tratamientos con nitrógeno, se encontró un comportamiento estadístico semejante, lo que significa que la inoculación de esta bacteria fijadora de nitrógeno representa gran ventaja en suelos como éste: moderadamente ricos en materia orgánica y

nitrógeno. Tanto la bacteria como las raíces de las plantas se desarrollaron en un suelo con un pH de 6.9, en este caso óptimo, pues la presencia de esta bacteria depende del pH del suelo, y es un requisito específico para su desarrollo, ya que la actividad de la nitrogenasa a ese grado de acidez es muy (Marcos y Rodríguez, 1981), quienes señalan que el pH óptimo para el crecimiento de esta bacteria varía de 6.8 a 7.8.

Cuadro 1. Población de *Azospirillum* en seis localidades de la Ciénega de Chapala¹.

Localidad	Municipio	Bacterias g raíz ⁻¹	Clave
San Gregorio	Pajacuarán, Mich.	4.5 x 10 ³	CM11
Cuatro Esquinas	Venustiano Carranza, Mich.	4.5 x 10 ³	CM12
Emiliano Zapata	Emiliano Zapata, Mich.	4.5 x 10 ³	CM15
Jiquilpan	Jiquilpan, Mich.	2.5 x 10 ³	CM5
Cumuatillo	Venustiano Carranza, Mich.	2.5 x 10 ³	CM13
La Palma	Venustiano Carranza, Mich.	2.5 x 10 ³	---

¹Determinada mediante el método del número más probable con las tablas de Mc Crady y J. Tardieux P. (Valdez, 1982).

Cuadro 2. Significancia estadística para 18 contrastes integrados por niveles de N, cepas bacterianas y su combinación, así como un testigo absoluto.

Contraste No.	Tratamiento	Peso seco raíz g	Peso seco follaje g	Nitrógeno foliar %
Tratam.	Tratamientos	**	**	**
C1	Testigo vs. todos los tratamientos	NS	**	**
C2	Niv. de N vs. cepas y cepas + niv. N	NS	NS	**
C3	Testigo absoluto vs. cepas	**	**	NS
C4	Cepas vs. N	**	**	**
C5	Cepas vs. 120 N	**	**	**
C6	Cepas vs 90 N	**	NS	**
C7	Cepas vs 60 N	**	NS	**
C8	Cepas vs cepas + N	**	**	**
C9	Niv. N vs. niv. N y cepas	NS	NS	NS
C10	60 N vs. cepas + 60 N	*	NS	NS
C11	90 N vs. cepas + 90 N	NS	NS	NS
C12	120 vs. cepas + 120 N	NS	NS	NS
C13	Cepas + 60 N vs. cepas + 90 N y 120 N	*	**	NS
C14	Cepas + 60 N vs. cepas + 90 N	NS	**	NS
C15	Cepas + 60 N vs. cepas + 120 N	**	**	NS
C16	Cepas + 90 N vs. cepas + 120 N	**	**	NS
C17	Cepas Jiquilpan vs. cepas restantes	NS	NS	NS
C18	Cepa SP7 vs. cepas de la Ciénega	NS	NS	NS

** y * = significancia estadística a 1 y 5 %, respectivamente; NS = no significativo.

Cuadro 3. Rendimiento de maíz follaje y nitrógeno foliar en base a peso seco de los tratamientos más sobresalientes.

Tratamiento	Peso raíz	Peso follaje	Nitrógeno foliar
	g	g	%
CM8	12.13	25.55	1.38
CM12	11.03	22.25	1.37
CM11	10.3	23.03	1.29
CM13	10.25	22.18	1.30
CM7	9.90	21.75	1.40
CM4	9.85	25.75	1.42
SP7	9.75	24.90	1.26
CM5	9.75	28.80	1.51
CM15	9.25	25.45	1.84
158UAP	8.75	24.80	1.66
Testigo Absoluto	7.85	17.75	1.60
CM7 + 60 N	7.18	27.03	3.62
CM8 + 60 N	7.35	26.13	3.74
CM11 + 60 N	6.53	25.90	3.64
CM13 + 60 N	6.75	25.65	3.76
CM13 + 120 N	5.10	19.15	4.17
90 N	6.20	21.85	3.96
158UAP + 120 N	6.63	25.45	3.94
SP7 + 60 N	6.90	22.18	3.93
CM15 + 120 N	4.85	19.53	3.90
CM11 + 90 N	6.33	21.05	3.90
120 N	5.55	18.65	3.90
60 N	8.48	24.70	3.51

Es importante resaltar que *Azospirillum* además de superar al testigo y a las tres dosis de fertilizante nitrogenado, también superó a la combinación fertilizante + bacterias, ya que en este caso *Azospirillum* no pudo manifestar su potencial como fijadora de nitrógeno ni como productora de fitohormonas, debido a que el fertilizante nitrogenado alteró las condiciones del suelo propias para su desarrollo. Lo anterior es apoyado por Vose (1983) al señalar que la ausencia de N favorece a *Azospirillum*, lo cual es confirmado por Nur *et al.* (1980a), quienes indican que una fertilización adecuada de hasta 50 kg de N ha⁻¹ no afecta la actividad de la nitrogenasa en tres variedades de trigo, pero a partir de 75 kg de N ha⁻¹ hay inhibición;

esto confirma aún más los resultados obtenidos, pues mientras que por una parte el suelo contaba con las condiciones favorables para el desarrollo de la bacteria y de las raíces de las plantas, las otras condiciones fueron totalmente adversas, tanto para las raíces como para la bacteria, al alterarse el pH de la solución del (Marcos y Rodríguez, 1981), pero los beneficios obtenidos por parte de la bacteria no se atribuyen únicamente a la fijación de nitrógeno, sino a *Azospirillum* (López-Reyes *et al.*, 1989).

Cuando se inoculó *Azospirillum* en combinación con cada una de las tres dosis de fertilizante nitrogenado, no contribuyó a aumentar el peso de las raíces de maíz H-303 en relación con los tratamientos únicamente con fertilización nitrogenada, debido a que la acción por parte de la bacteria se inhibió en presencia de este fertilizante aplicado en cada una de sus tres dosis; esta inhibición se atribuye al NH₄⁺ que afectó la actividad de la bacteria. Para comprobar el resultado de este contraste y determinar más concretamente el efecto de cada una de las tres dosis, se comparó por separado los resultados de los dos grupos de tratamientos compuestos por las dosis de nitrógeno (60 y 90 kg de N ha⁻¹) vs la combinación de los dos grupos de tratamientos consistentes en la combinación de cada una de estas dosis y las 10 cepas bacterianas; en efecto, no hubo diferencia entre aplicar cada una de estas dosis por separado o combinadas con las cepas de *Azospirillum*.

En cambio, al comparar la aplicación de la dosis menor de fertilizante nitrogenado (60 kg N ha⁻¹) con los tratamientos compuestos por esta misma dosis de nitrógeno más la bacteria, se observó que en este caso el efecto de ésta fue negativo, pues se supone que torció los nutrimentos necesarios para su desarrollo

del mismo nitrógeno aplicado al suelo, ya que se considera que si en la rizósfera se alteró el pH, ésta infectó las raíces de la planta de maíz donde encontró un medio con las condiciones propicias para su desarrollo.

Los tratamientos compuestos por la fertilización nitrogenada equivalente a 60 kg N ha⁻¹ más *Azospirillum*, resultaron estadísticamente iguales a los que se fertilizaron con 90 kg de N ha⁻¹ más la bacteria, sin embargo, al aumentarse la fertilización a 120 kg de N ha⁻¹, los rendimientos en peso seco de las raíces de maíz resultaron inferiores a los dos anteriores.

El análisis de varianza para peso seco del follaje de maíz indicó un comportamiento estadístico diferente para los tratamientos, con un coeficiente de variación de 12.26%.

Cuando se comparó el testigo contra todos los demás tratamientos del experimento, su rendimiento se encontró muy por debajo del de la mayoría de los tratamientos correspondientes a las cepas bacterianas, así como a los correspondientes a la dosis de 60 kg N ha⁻¹ más la bacteria, lo que se interpreta no solamente como una baja respuesta al nitrógeno en altas dosis por parte de la planta, sino además como un daño a las raíces por el exceso de nitrógeno en este caso, y que se manifestó en la parte aérea de la planta, pero este daño no consistió únicamente en el escaso desarrollo de las raíces, sino que probablemente inhibió la absorción de algunos nutrimentos del suelo al alterar los diferentes factores edáficos y condiciones para el desarrollo de la bacteria.

Los resultados de comparar el peso seco del follaje del maíz con las cepas de *Azospirillum* con los tratamientos que

corresponden a las tres dosis de nitrógeno, indican que al igual que lo ocurrido con el peso seco de las raíces, la inoculación por parte de la bacteria superó a la fertilización nitrogenada en general, lo que se traduce como una manifestación en la parte aérea de los beneficios que obtuvieron las raíces de maíz por parte de la bacteria al desarrollarse en condiciones óptimas; esto le permitió contribuir en un incremento del peso seco de follaje. Estos resultados concuerdan con los reportados por Pereira *et al.* (1988). En cambio, se observa una baja respuesta al nitrógeno por parte de la planta; es obvio que hizo falta la presencia de *Azospirillum*, pues además de no existir efectos por parte de esta bacteria, el exceso de nitrógeno afectó a las raíces y posiblemente inhibió la absorción de algunos nutrimentos del suelo al alterar los diferentes factores edáficos y condiciones para su desarrollo.

Al referirse concretamente a las dosis de fertilizante equivalente a 120 kg N ha⁻¹ se observa que de acuerdo con los resultados obtenidos, los rendimientos de peso seco en follaje son inferiores a los obtenidos con la inoculación de *Azospirillum*, ya que existe diferencia estadística altamente significativa; estos resultados concuerdan con los obtenidos en el follaje, pues el nitrógeno afectó a las raíces; además, no se obtuvieron los beneficios por parte de la bacteria. Estos fueron los factores responsables de esta diferencia tan marcada en cuanto al peso del follaje, lo cual se considera como una consecuencia de lo ocurrido en las raíces, pues al término del experimento se observó tanta escasez del sistema radicular que apenas lograba sostenerse la parte aérea de la planta.

Al comparar los resultados de peso seco de follaje de los tratamientos de las dos dosis restantes equivalentes a 60 y

90 kg de N ha⁻¹, con la inoculación bacteriana, se observó que no existe diferencia estadística significativa, por lo que en este caso y en este tipo de suelo, resultó lo mismo aplicar de 60 a 90 kg N ha⁻¹ que inocular a la planta de maíz con la bacteria.

Los tratamientos compuestos por la fertilización nitrogenada en sus tres dosis (60, 90 y 120 kg N ha⁻¹) y la combinación de las 10 cepas de *Azospirillum* fueron superados desde el punto de vista estadístico por los tratamientos inoculados con la bacteria, lo que concuerda con los resultados referentes a peso seco de raíces en este mismo contraste. En este caso, la aplicación del fertilizante nitrogenado al suelo representó un factor determinante en la alteración de las condiciones de desarrollo de la bacteria, lo que tal vez provocó una autodestrucción de este microorganismo o simplemente no fue capaz de manifestar sus actividades como fijadora de nitrógeno y productora de ácido indolacético. Estos resultados son apoyados por las investigaciones de Dobereiner (1978), y Jain y Patriquin (1985).

Al comparar al grupo de tratamientos que recibieron la fertilización nitrogenada de kg N ha⁻¹ más la inoculación bacteriana, contra la combinación de las 10 cepas de *Azospirillum* y las dos dosis restantes de fertilizante nitrogenado (90 y 120 kg de N ha⁻¹), se encontró diferencia estadística altamente significativa. Esto significa que en cuanto se refiere a rendimiento de peso seco del follaje, las dosis de 90 y 120 kg de N ha⁻¹ no contribuyeron positivamente y afectaron negativamente el rendimiento, lo cual se considera como una consecuencia de los daños causados a este microorganismo nitrificante por el exceso de las sales fertilizantes acumuladas en el suelo.

El análisis de varianza para contenido de nitrógeno total en follaje de maíz arrojó una diferencia altamente significativa con un coeficiente de variación de 8.69%. Al comparar los resultados del contenido de nitrógeno foliar del testigo con todos los demás tratamientos del experimento, también se encontró diferencia estadística altamente significativa, lo cual significa que el testigo fue superado por los tratamientos equivalentes a la fertilización nitrogenada y a las combinaciones de las tres dosis de nitrógeno más las 10 cepas de *Azospirillum*.

Con la aplicación de fertilizante nitrogenado al suelo, se obtuvo un contenido de nitrógeno foliar superior al obtenido con los demás tratamientos, que consisten en la inoculación con *Azospirillum* y la combinación de las cepas de esta bacteria fijadora de nitrógeno más la fertilización nitrogenada.

En cuanto a contenido de nitrógeno foliar, no se encontró diferencia estadística significativa entre el testigo y las cepas de la bacteria fijadora de nitrógeno, esto tal vez se debió a que el nitrógeno fijado por parte de la bacteria fue utilizado para elaborar las proteínas componentes de la raíz, ya que también se incrementó el peso del follaje; las raíces obtuvieron el mayor beneficio con la inoculación de la bacteria, pues su peso seco se incrementó considerablemente, lo que se atribuye al efecto de las fitohormonas excretadas por *Azospirillum*, según lo encontrado por Tien *et al.* (1979).

El contenido de nitrógeno foliar que resultó de la inoculación con *Azospirillum*, fue superado por la aplicación de fertilizante nitrogenado en cada una de las tres dosis (60, 90 y 120 kg de N ha⁻¹), y tal vez, este alto contenido de nitrógeno en el follaje de las

plantas tratadas con el fertilizante nitrogenado causó toxicidad, lo que se traduce como un desequilibrio bioquímico y fisiológico, que se manifestó en un peso bajo de materia seca, tanto en raíces como en follaje. En cambio, el nitrógeno fijado por parte de las bacterias mantuvo en equilibrio la solución del suelo y el metabolismo de las plantas, lo que permitió que se absorbieran los demás elementos esenciales, los cuales, junto con las fitohormonas excretadas por esta bacteria, fueron los responsables del incremento de materia seca de las plantas, tanto en la raíz como en follaje.

El contenido de nitrógeno en el follaje del maíz del grupo de tratamientos formados por la combinación de las 10 cepas de *Azospirillum*, más las tres dosis de nitrógeno (60, 90, y 120 kg de N ha⁻¹), superó ampliamente el contenido de nitrógeno que resultó de inocular al maíz con esa bacteria; el exceso de nitrógeno encontrado en el follaje es la consecuencia de la fertilización nitrogenada en sus tres dosis, lo cual explica la baja respuesta por parte de la bacteria, ya que no intervino en un aumento de materia seca en la planta de maíz, pues el nitrógeno alteró las condiciones edáficas y el metabolismo de la planta y de la bacteria, causando un desequilibrio fisiológico.

CONCLUSIONES

Con base en las observaciones hechas en el material experimental, el análisis de los resultados obtenidos y la literatura consultada, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. La mayor incidencia de *Azospirillum* se encontró en San Gregorio, Cuatro Esquinas y Emiliano Zapata, en el ámbito de la Ciénega de Chapala.
2. Las cepas de *Azospirillum* incrementaron el peso seco de las raíces de maíz-303, y superaron al testigo absoluto y a las tres dosis de nitrógeno.
3. Con la inoculación de *Azospirillum* se obtuvieron rendimientos de peso seco de follaje iguales a los obtenidos con la aplicación de 60 y 90 kg de N ha⁻¹.
4. Con la aplicación de 60 kg de N ha⁻¹, en combinación con la bacteria fijadora de nitrógeno, se obtuvieron rendimientos más altos de peso seco de raíces que con 90 y 120 kg de N ha⁻¹ más *Azospirillum*.
5. La cepa de *Azospirillum* SP7, utilizada como cepa tipo no superó a las cepas de la Ciénega de Chapala en cuanto a peso seco de raíces y follaje, y contenido de nitrógeno se refiere.
6. La cantidad de nitrógeno que se encontró en el follaje de maíz -303, resultó igual con cualquiera de las tres dosis de nitrógeno y de igual forma cuando se combinaron con las cepas de *Azospirillum*.

LITERATURA CITADA

- ARSAC J.F., C. LAMOTHE, D. MULARD, and J. FAGES. 1990. Growth enhancement of maize (*Zea mays* L.) through *Azospirillum lipoferum* inoculation: effect of plant genotype and bacterial concentration. *Agronomie* 10: 640-654.
- BASHAN, Y., and H. LEVANONY. 1985. An improved selection technique and medium for the isolation and enumeration of *Azospirillum brasilense*. *Can J. Microbiol.* 31: 947-952.
- BASHAN, Y. 1986. Enhancement of wheat root colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd, following temporary depression of rhizosphere microflora. *Appl. Environ. Microbiol.* 51: 1067-1071.
- DOBEREINER, J. 1978. Influence of environmental factors on the occurrence of *Spirillum lipoferum* in soils and roots. *Ecol. Bull. (Setckhelm)* 26: 343-352.
- DOBEREINER, J. 1979. Instructivo de prácticas del curso sobre *Azospirillum* sp. y gramíneas. Instituto Politécnico Nacional - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México, D.F.

- DOBEREINER, J. 1983. Ten years of *Azospirillum*. *Experientia Suppl.* 48: 9-24.
- FALLIK, E., Y. OKON, and M. FISHER. 1988. Growth response of maize roots to *Azospirillum* inoculation: Effect of soil organic matter content, number of rhizosphere bacteria and timing of inoculation. *Soil Biol. Biochem.* 20: 45-49.
- HAVELKA, U.D., M.G. BOYLE, and R.W.F. HARDY. 1982. Biological nitrogen fixation. In: F.J. Stevenson (ed.). *Nitrogen in agricultural soils*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- HUBBELL, D.J., and M.H. GASKINS. 1984. Associative N₂ fixation with *Azospirillum*. In: M. Alexander (ed.) *Biological nitrogen fixation: Ecology, technology and physiology*. New York, USA.
- JAIN, D.K., and D.G. PATRIQUIN. 1985. Characterization of a substance produced by *Azospirillum* which causes branching of wheat root hairs. *Can J. Microbiol.* 31: 206-210.
- KAPULNIK, Y., Y. OKON, J. KIEGEL, I. NUR, and Y. HENIS. 1981. Effects of temperatures, nitrogen fertilization and plant age on nitrogen fixation by *Setaria italica* inoculated with *Azospirillum brasilense* (Strain Cd). *Plant Physiology* 68: 340-343.
- LOPEZ-REYES L., L. SOTO-URZUA, M.A. MASCARUA-ESPARZA, I.HERRERA-CAMACHO, AND J. CABALLERO-MELLADO. 1989. Antibiotic resistance and B-lactamase activity in *Azospirillum*. *Soil Biol. Biochem.* 21: 651-655.
- MARCOS L., B. DE Y S. RODRIGUEZ B. 1981. Aislamiento, cuantificación y distribución ecológica de *Azospirillum* sp. en algunas regiones del país. Tesis de licenciatura; Escuela de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Puebla.
- MARGALEF, M. 1974. *Ecología*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España.
- MONZON DE A., M.A. 1983. Estudios sobre la infección de raíces de trigo (*Triticum aestivum*) por *Azospirillum* spp. *Rev. Facult. Agron.* 4: 283-289.
- NUR, I., Y. OKON, and Y. HENIS. 1980a. Comparative studies of nitrogen-fixing bacteria associated with grasses in Israel with *Azospirillum brasilense*. *Can J. Microbiol.* 26: 714-718.
- NUR, I., Y. OKON, and Y. HENIS. 1980b. An increase in nitrogen content of *Setaria italica* and *Zea mays* inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Can. J. Microbiol.* 26: 482-485.
- PAL, U.R., and H.S. MALIK. 1981. Contribution of *Azospirillum brasilense* to the nitrogen needs of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in humid sub-tropics. *Plant Soil* 63: 501-504.
- OKON, Y., and Y. HADAR. 1987. Microbial inoculants as crop-yield enhancers. *CR C. Critical Reviews Biotechnol.* 6:234-245.
- PALACIOS B., M.C. 1982. Efecto de la inoculación de *Azospirillum* sp. sobre el crecimiento de maíz bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
- PEREIRA, J.A.R., V.A. CAVALCANTE, J.I. BALDANI, and J. DOBEREINER. 1988. Sorghum and rice inoculation with *Azospirillum* spp. Y *Herbaspirillum seropedicae* in field. *Plant Soil* 110: 269-274.
- RAO, A.V., and B. VENKATESWARLU. 1982. Associative symbiosis of *Azospirillum lipoferum* with dicotyledonous succulent plants of Indian desert. *Can. J. Microbiol.* 28: 778-782.
- REYNDERS, L., and VLASSAK, K. 1982. Use of *Azospirillum brasilense* as biofertilizer in intensive wheat cropping. *Plant Soil* 66: 217-223.
- TARRAND, J.J., R.N. KRIEG, and J. DOBEREINER. 1978. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. Nov. and *Azospirillum brasilense*. nov. *Can. J. Microbiol.* 24: 967-980.
- TIEN, T.M., M.H. HASKINS, and D.H. HUBBELL. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Appl. Environm. Microbiol.* 37: 1016-1024.
- VALDEZ, M. 1982. Manual de prácticas de microbiología agrícola. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- VALTIERRA L., M. 1992. Potencial de *Azospirillum* sp. como fertilizante biológico de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México
- VOSE, P.B. 1983. Developments in non-legumes N₂ fixing systems. *Can J. Microbiol.* 29:837-850.

**LA TERRAZA DE MURO VIVO PARA LADERAS DEL
TROPICO SUBHUMEDO DE MEXICO.
I. ANALISIS DEL DESARROLLO DE LA TERRAZA DURANTE 6 AÑOS**

The living wall terrace for sustainable hill farming in the subhumid tropic of Mexico.

I. Analysis of six years terrace development

**A. Turrent Fernández¹, S. Uribe Gómez², N. Francisco Nicolás² y
R. Camacho Castro².**

¹Investigador del INIFAP-CIRCEN, Campo Experimental Valle de México
Profesor colaborador del CP.

²Investigador del INIFAP-CIRGOC, Brigada Los Tuxtlas.

Palabras clave: Agricultura sustentable en laderas del trópico sub-húmedo; Terraza de muro vivo; Cultivo doble de maíz; *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*.

Index words: Sustainable hill farming in the subhumid tropic; Living wall terrace; Maize double cropping; *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*.

RESUMEN

Desde 1988 se ha conducido un experimento de carácter permanente en dos localidades del trópico subhúmedo de México, municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz. Los suelos son un Alfisol erosionado y un Vertisol que se manejan con el cultivo doble de maíz con sucesión de

maíz, en temporal. Las pendientes promedio del Alfisol y el Vertisol eran de 14.5% y 8.5%, respectivamente. El clima es AW₂(W)(e)g, con precipitación promedio anual de 1750 mm. En este experimento se cotejan hipótesis pertinentes al proceso de formación sucesiva de terrazas de muro vivo(TMV) mediante estructuras basadas en setos de leguminosas arbóreas y camellones de residuos de cultivo, en contorno. Se comparan dos caídas entre setos, 1.0 y 0.75 m; dos especies leguminosas *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, dos intensidades en la labranza primaria, y dos órdenes de suelo. Los setos se podan radicalmente dos veces al año, cuando el maíz alcanza su estadio V₃. Se evaluó el avance de las terrazas en 1993, después de cinco ciclos primavera-verano y cinco ciclos otoño-invierno, y nueve podas radicales al seto. Se encontró que la pendiente del terreno cambió desde 14.5% a 6.1% en las TMV en el Alfisol, y desde 8.5% a 6.8% en

Recibido 8-94.

el Vertisol. El cambio en la pendiente se asoció con la interacción entre la lluvia y los factores pendiente original local e intensidad en la labranza primaria, y con el orden de suelos. Las TMV retuvieron sedimentos en volúmenes de 720 m³/ha (laboreo ligero) o de 937 m³/ha (laboreo intenso), equivalentes a láminas retenidas de 70 mm y 89 mm, respectivamente, en el Alfisol. La especie *G.sepium* alcanzó un diámetro basal promedio de 24 cm, un intervalo promedio de 16 cm entre plantas, y una sobrevivencia de 93%, superando ampliamente a la especie *L. leucocephala*.

SUMMARY

A permanent field experiment is being conducted since 1988 on an eroded Alfisol and a Vertisol at a location in the subhumid tropic of Mexico. The objective is to learn how to develop "living wall terraces", LWT, as a means of controlling soil erosion. The concept involves conventional tillage plus contour hedges of a legume bush. It was hypothesized that LWT can be gradually developed in subhumid regions, through the combination of: a) tillage with a reversible plow which favors a gradual downslope transport of the topsoil; b) rainfall associated soil erosion within the terrace; and c) a sediment filtering structure composed of crop residues aligned parallel to the hedge. Six treatments involving 1.0 m and 0.75 m vertical drop between hedges, two primary tillage intensities and two legume species *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*, and a check were arranged in an unreplicated systematic design. The experimental plot was 20 m wide and had seven terraces on a downslope formation. The experiment was double cropped to rainfed

corn. The hedges were radically pruned twice a year, so as to minimize competition with the main crop. In the summer of 1993 after having radically pruned the hedges nine times, the six year progress of the terraces was evaluated. The 1993 average slope of all terraces and treatments was 6.1% in the Alfisol, as compared to 14.5% in 1988, and 6.8% in the Vertisol, as compared to 8.5% in 1989. Local slope, tillage intensity and the soil type were the main factors responsible for the change in terrace slope. Sediments were effectively collected in the hedges: 720 m³/ha for light tillage and 937 m³/ha for intensive tillage. *G. sepium* had a 93% survival rate, while survival rate of *L. leucocephala* was 62%.

INTRODUCCION

La erosión hídrica es el factor central del deterioro de los suelos agrícolas de México. Se ha estimado que 61% de la tierra de labor del país tiene pendientes mayores a 4% (Turrent, 1986), por lo cual está expuesto a aquel proceso de deterioro. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de su extinta Dirección General de Conservación del Suelo y el Agua, DGCSA, y los productores, protegieron con obras casi 3.3 millones de hectáreas en el período de 1947 a 1982 (Vázquez, 1987). Sin embargo, el alto costo de las obras, la lentitud en su avance, y el frecuente rechazo de la tecnología por parte de los productores, determinaron la interrupción de este esfuerzo. Es claramente urgente desarrollar alternativas de bajo costo, que permitan retomar el combate de la erosión, particularmente en la región tropical del país, donde reside gran parte de los recursos nacionales de tierra y agua, para producir alimentos.

Los autores de este artículo iniciaron un proyecto en la región de Los Tuxtlas, Veracruz en 1981, con el objetivo de desarrollar un prototipo de explotación agropecuaria familiar para el trópico subhúmedo de México. Este prototipo habría de proporcionar respuestas en cinco áreas: 1) aumentar la productividad de la tierra, sin disminuir su uso intenso tradicional; 2) aumentar la productividad de la mano de obra; 3) conservar el suelo y el agua; 4) desarrollar la integración agropecuaria y forestal; y 5) mejorar el manejo postcosecha tradicional. Como producto de esta experiencia se desarrollaron tres sistemas de explotación de la tierra, según la pendiente dominante: a) el de "camas anchas en pendiente gradual", para pendientes menores a 4; b) la "terrazza de muro vivo" (TMV), para pendientes entre 4 y 25% (Zúñiga *et al.*, 1993); y c) el sistema "MASLA" (manejo agronómico sustentable de laderas abruptas), para pendientes mayores a 25%. En una serie de cinco artículos, se presenta la experiencia de los últimos seis años, en la terraza de muro vivo. Estos artículos cubren: 1) el desarrollo físico de la terraza; 2) la evolución de algunas propiedades físicas y químicas del suelo; 3) el desempeño del cultivo doble del maíz en la terraza; 4) la estrategia de la transferencia de la tecnología; y 5) la experiencia en la transferencia de la tecnología.

El desarrollo de la tecnología de la TMV se apoya en la rica experiencia científica internacional acumulada a partir de 1976, en torno al sistema de cultivo en callejones (SCC) (alley cropping), iniciada por el Instituto Internacional de Agricultura Tropical, IITA (Celestino, 1984; Pacardo, 1984; Lundgren y Nair, 1985; Kang *et al.*, 1985; Juo *et al.*, 1994). También se apoya en desarrollos más recientes de la disciplina conocida como agroforestería (Nair *et al.*, 1994). Paningbatan

(1990) señala que, en un Tropudalf Típico de las Filipinas con pendiente variable entre 14 y 19%, el SCC redujo drásticamente la pérdida de suelo (PS) y el escurrimiento superficial de agua de lluvia (ESALL) con relación al testigo, en un periodo de 3 meses: PS = 127 Mg ha⁻¹ y ESALL = 347 mm para el testigo, en tanto que para el SCC, dichas variables tuvieron valores de 3 Mg ha⁻¹ y de 75 mm, respectivamente. En otra experiencia, ahora en un Paleudult Típico del Perú, con pendiente variable entre 15 y 20% y una precipitación anual media de 2259 mm, los valores de PS y de ESALL fueron de 53 Mg ha⁻¹ año⁻¹, y 249 mm/año para el testigo, y de 1 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y 31 mm/año para el SCC (Alegre y Cassel, 1994). En todos los casos, el SCC condujo al desarrollo paulatino de terrazas de muro vivo, cuando se estableció sobre laderas. En la India, en cambio, se estimula el uso de la gramínea de transplante *Vetiveria zizanioides*, para el desarrollo gradual de TMV, con excelentes resultados en cuanto a su desarrollo y estabilidad, en una gran variedad de condiciones de pendiente, tipo de suelo y precipitación (Grimshaw, 1994; National Research Council, 1993; World Bank, 1987).

La tecnología del SCC ha enfrentado serias limitaciones en materia de su transferencia a los productores, a pesar de su claro mérito técnico, en virtud de: a) el incremento de 25 a 37% en su demanda de mano de obra respecto a la tecnología tradicional y b) por la reducción en el espacio cultivable (Juo *et al.*, 1994). De la misma manera, la tecnología basada en el zacate *Vetiveria* tiene como limitantes el acceso al material vegetativo de transplante y la intensidad en la demanda de mano de obra, en su establecimiento.

Con la esperanza de evadir posibles problemas de transferencia tecnológica, se decidió seguir las siguientes reglas: 1) usar

leguminosas nativas arbóreas fácilmente reproducibles por semilla, para abaratar el costo de establecimiento de la TMV; 2) limitar la contribución de la especie arborea al ámbito del desarrollo y estabilidad del muro vivo, alejándose del concepto de circulación de nutrimentos que caracteriza al SCC, y que demanda amplio espacio para el cultivo del seto; y 3) provocar un grado manejable de erosión a través de la labranza primaria con arado reversible, en el área comprendida entre los setos, y reforzar la capacidad del seto de atrapar sedimentos, con un filtro temporal de sedimentos, integrado por residuos de cosecha.

Se postuló como modelo del desarrollo de la TMV que: 1) la acción repetida del arado reversible transportaría suelo de la parte superior de la terraza hacia la inferior; (2) la energía cinética del agua de lluvia, el mullido del suelo provocado por la roturación y la pendiente misma, provocarían el movimiento local de sedimentos; 3) el agua de escurrimiento encontraría como obstáculo, a su paso sobre la terraza, un filtro de sedimentos constituido por el material vegetativo podado del seto y por una fracción de los residuos del cultivo principal, ambos acamellonados antes de la roturación anual, "aguas arriba" y en descanso sobre el seto, este obstáculo le arrebataría una fracción de los sedimentos en suspensión; 4) una fracción del material suspendido en el agua de escurrimiento (coloides) o disuelto (bases, aniones y materia orgánica), sería inevitablemente perdido; 5) el seto conferiría estabilidad física a los sedimentos retenidos, y formaría con sus raíces y troncos, un "muro vivo" permanente; 6) el proceso de acumulación de sedimentos reduciría gradualmente la pendiente de la terraza, y con ello, la pérdida de materiales del suelo, hasta detenerse, cuando esa pendiente se

acercara al valor cero; en tales condiciones, la ladera quedaría protegida permanentemente.

MATERIALES Y METODOS

El desarrollo de la TMV involucra un proceso de erosión, que aun siendo local, responde a los factores de la erosión misma, los cuales se resumen en la ecuación universal de las pérdidas de suelo (Arias y Figueroa, 1992). Se involucran la erosividad de la lluvia, la pendiente y longitud del terreno, el "mullido" de la cama de siembra y la susceptibilidad del suelo a la erosión. Se evaluaron en este estudio dos pendientes generales del terreno, dos intensidades del laboreo, dos caídas entre setos, dos órdenes de suelo, y dos especies leguminosas en el seto. Sin embargo, por razones de tipo económico, el planteamiento experimental adoptado no permitió evaluar los efectos e interacciones de todos los factores involucrados, como se describe a continuación. El cotejo se realizó en dos localidades. En una de estas se conduce un experimento de carácter permanente, en tanto que en la segunda localidad, que tiene diferentes pendiente general y orden de suelo, se da seguimiento a una parcela comercial sujeta a uno de los tratamientos probados en el primer sitio experimental. Las TMV se instalaron en la segunda localidad, un año después que en el sitio experimental. El cotejo entre ambas localidades permite una medida confundida de los efectos de la pendiente general del terreno y del orden de suelos.

El experimento de campo de carácter permanente se instaló en el ciclo primavera-verano de 1988 (PV 88-88), sobre una ladera severamente erosionada de un Alfisol típico (Hapludalf Típico, franco, mezclado, hipertérmico). La pendiente promedio del

Cuadro 1. Algunas características físicas y químicas del suelo del sitio experimental. Ejido Vistahermosa, Tilapan, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Características	Unidades	Estratos del suelo (cm)					
		0-18	18-33	33-45	45-65	65-88	88-108
Raíces ²⁾		abu	abu	fre	esc	esc	sin
Grupo textural ³⁾		MAA	MAA	MAA	MA	MA	MA
Arcilla, %		27	23	23	17	15	15
Limo, %		17	13	12	4	6	6
Arena, %		56	64	65	79	79	79
Color en húmedo		5YR3/4	5YR3/2	5YR3/2	5YR3/3	5YR4/2	7.5YR4/4
pH (agua 1:2)		5.34	5.86	6.05	6.05	6.07	6.04
Materia orgánica	%	2.22	1.42	0.90	0.50	0.17	0.17
Fósforo, Bray P1	ppm	3.4	5.8	2.9	3.7	4.9	3.1
CIC	cmol x kg ⁻¹	15.6	11.7	10.2	9.5	7.1	7.4
Ca ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	9.1	7.3	5.8	5.8	4.5	4.4
Mg ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	6.0	3.9	3.1	3.1	2.2	2.7
K ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Na ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
PSB	%	99.0	99.1	99.0	98.8	98.6	98.7

	Estratos del suelo, cm			
	108-130	130-140	140-170	170-190
Raíces	sin	sin	sin	sin
Grupo textural	MA	MA	MA	AM
Arcilla, %	15	13	15	9
Limo, %	4	8	6	2
Arena, %	81	79	79	89
Color en húmedo	7.5YR4/4	7.5YR4/4	7.5YR4/4	7.5YR4/4
pH (agua 1:2)	6.09	6.16	6.18	6.19
Materia orgánica	%	0.17	0.17	0.10
Fósforo, Bray P1	ppm	6.5	4.9	9.2
CIC	cmol x kg ⁻¹	7.4	6.4	6.9
Ca ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	4.2	3.4	3.5
Mg ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	2.8	2.7	3.0
K ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.2	0.2	0.1
Na ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.1	0.1	0.1
PSB				

¹⁾Métodos: Textura hidrómetro; Materia orgánica, Walkley-Black; CIC, con acetato de amonio 1 N pH 7;

PSB = significa porcentaje de saturación de bases.

²⁾En el renglón de raíces: abu = abundante, fre = frecuente, esc = escasa y sin = sin raíces.

³⁾En el grupo textural: MAA = migajón arcillo arenoso, MA = migajón arenoso, AM = arena migajonosa.

predio era de 14.5%, con valores extremos de 8% y 31%. En el Cuadro 1 se presentan varias características físicas y químicas del suelo. Se trata de un perfil con textura ligera,

con: a) bajo contenido de materia orgánica, b) pH ligeramente ácido, c) baja capacidad de intercambio de cationes y d) alta saturación de bases. Se estima que en la ladera experimental

se han erosionado los primeros 40 cm del suelo superficial. Este sitio experimental se ubica en el ejido Vistahermosa, localidad Tilapan, municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz. Su clima es AW₂(W)(e)g (Uribe, 1985). La temperatura media anual es de 25 °C, y la precipitación es cercana a 1750 mm anuales. La parcela había sido manejada con el cultivo doble de "maíz con sucesión de maíz", en temporal, durante periodos de tres o cuatro años, con un periodo igual de descanso. El manejo de fertilizantes ha sido típicamente a base de nitrógeno, excluyendo a otros nutrimentos minerales, en ambos ciclos. La razón del periodo de descanso que caracteriza a la tecnología tradicional, deriva de la necesidad de corregir la pérdida de la fertilidad del suelo que ocurre durante el periodo de cultivo. El inicio del experimento ocurrió en el cuarto año del periodo de cultivo; es decir, cuando se programaba el inicio del periodo de descanso.

El objetivo del experimento es explorar la factibilidad y rentabilidad de desarrollar gradualmente terrazas de muro vivo con leguminosas arbóreas nativas, manejadas con el cultivo doble de maíz de temporal, y realizar un manejo agrícola sedentario-sustentable, bajo un clima tropical subhúmedo.

La hipótesis en cotejo en el sitio experimental es:

"la estabilidad, el costo y la viabilidad operativa de la terraza, están afectados por los factores: a) la "caída" (separación vertical) entre setos, b) la intensidad de la roturación y c) la especie leguminosa empleada en el seto"

Se esperaba que los valores altos en la caída entre los setos, se asociarían con mayores

distancias horizontales entre setos y por lo tanto menor grado de dificultad para el manejo agrícola y mayor índice de aprovechabilidad del terreno. A la vez, se esperaría una mayor pérdida en la productividad de la sección alta de la terraza, como resultado de una mayor pérdida de su estrato superior de suelo. Por otra parte, mientras más profunda fuera la roturación y mayor el demenuzamiento de las partículas del suelo (mullido de la cama de siembra), mayor habría de ser la velocidad de desarrollo de la terraza, debido a un mayor desprendimiento de partículas de suelo por el impacto de las gotas de lluvia (Johnson *et al.*, 1979). Las especies vegetales empleadas en el seto podrían variar en cuanto a su adaptación al manejo y de ahí su sobrevivencia y consecuente estabilidad del muro vivo.

El experimento incluyó seis tratamientos sin repetición y con muestreo (seis terrazas) en diseño sistemático. Los cuatro primeros tratamientos involucraron dos caídas entre setos (0.75 m y 1.00 m) y dos especies leguminosas (*Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocéphala*), en un arreglo factorial de 2² en parcelas divididas, donde el factor caída entre setos ocupó la parcela grande y el factor especie vegetal ocupó la parcela chica. La labranza de estos tratamientos se realizó con tracción animal, con la línea de equipo "multibarra" (Mendoza *et al.*, 1994) equipada con arado reversible de vertedera y rastra ligera de picos; la profundidad de roturación fue de 10 cm. El quinto tratamiento se roturó con tractor equipado con arado reversible de discos y con rastra pesada de discos, a una profundidad de 20 cm; la caída vertical fue de 1 m y la especie *G. sepium*. El sexto tratamiento fue el testigo (sin TMV), roturado con tractor equipado con rastra pesada de discos. Cada tratamiento ocupó un área de 20 m de ancho, por la longitud del terreno, con un espacio para

cinco a siete terrazas; cada terraza fue una unidad de muestreo. Por razones obvias del problema estudiado, era necesario que cada tratamiento cubriera el desarrollo completo de la pendiente, en la ladera experimental. También era necesario que la anchura de la parcela experimental fuera capaz de dominar la dinámica natural de los escurrimientos, limitando interacciones entre tratamientos. Por esto se escogió la anchura de 20 m. El costo de estas decisiones fue que no se podrían instalar repeticiones de los tratamientos.

En mayo de 1988 se realizó la preparación de todo el terreno con un paso uniforme de rastra de discos. Se hizo el trazo de los contornos según el plan experimental. Se midieron las pendientes con el "nivel de agua de tubo flexible" (FAO, 1987), en dos sitios de cada terraza y tratamiento. Poco después del establecimiento de las lluvias, se trazaron los surcos para los setos, con arado de doble vertedera ja-lado con animales. Se sembraron ambas especies leguminosas "a chorrillo", a razón de 40 a 50 semillas por metro lineal, la semilla se trató previamente con el insecticida Semevin 350, a razón de 2 g por kg de semilla; ésta se cubrió con una capa de 0.5 a 1 cm de suelo. Se realizaron tres deshierbes del seto con azadón en 1988, a los 30, 60 y 120 días después de la siembra. Después del primer deshierbe se aplicó superfosfato de calcio triple, a razón de 44 g por metro lineal. Los deshierbes y la fertilización del seto se realizaron solamente en 1988.

Para estudiar la respuesta de ambas especies leguminosas a la competencia con malezas y a la fertilización fosfatada, se realizó un experimento en 1988, con cuatro tratamientos y siete repeticiones. Los tratamientos derivaron de dos factores y dos niveles cada uno: competencia de malezas (sin y con

hierbas) y fertilización fosfatada (sin y con 44 g de superfosfato de calcio triple, por metro lineal). La parcela fue de 5 m lineales de seto. Este experimento se instaló aprovechando los setos de las terrazas experimentales. Después de concluido el experimento, los setos se podaron y manejaron como correspondió al experimento principal.

En el Cuadro 2 se muestra el manejo de la labranza primaria de los tratamientos experimentales, en el periodo de 1988 a 1993. Como se aprecia, la roturación con tractor a 20 cm de profundidad solamente se realizó en los años 1989 y 1990 (1 PA-1 PR con tractor). A partir de 1991 se cambió el tratamiento de arado profundo con tractor, por el de dos pasos de rastra pesada, también con tractor, y a la tracción animal con implementos ligeros, a partir de 1992.

Se evaluó la precipitación pluvial de manera acumulada quincenalmente, en el sitio experimental Vistahermosa, desde 1988. Se empleó un pluviómetro de piso de tubo PVC de 2.54 cm de diámetro y de 80 cm de longitud, colocado dentro de otro tubo-funda de mayor diámetro (Escobedo, 1984). Se sembró y cosechó maíz en el experimento en ambos ciclos, primavera-verano, (PV), y otoño-invierno (OI), a partir del ciclo PV 88-88.

A partir del siguiente año de la siembra de los setos, se realizaron dos podas severas anuales a los setos, tan pronto como el cultivo de maíz alcanzó su etapa V3 (Ritchie y Hanway, 1984). La poda se realizó con machete filoso, 30 cm por arriba de la superficie del suelo, aguas arriba del seto.

En septiembre de 1993, después de haber realizado nueve podas, se evaluó la

Cuadro 2. Labores de labranza primaria realizadas para varios tratamientos, durante el período de 1988 a 1993. Sitio Vistahermosa.

Año	Fecha	Labranza primaria realizada		
		Tracción animal	Tracción mecanizada	
		En terrazas	En terrazas	Sin terrazas
1988	Mayo	1PR ¹⁾ (tractor)	1PR (tractor)	1PR (tractor)
	Octubre	1pa + 1pr ²⁾	-----	-----
1989	Mayo	1pa + 1pr	1PA + 1PR	1PR
	Noviembre	1pr	1pr	1pr
1990	Junio	1pa + 1pr	1PA + 1PR	1PR
1991	Mayo	1pa + 1pr	2PR	2PR
1992	Mayo	1pa + 2pr	1pa + 2pr	1pa + 2pr
1993	Mayo	1pa + 1pr	1pa + 1pr	1pa + 1pr

¹⁾La labranza primaria realizada con tracción mecánica, se hizo con arado reversible, de discos, y con rastra también de discos. La profundidad de roturación fue de 20 cm. Cuando la labranza se realizó con tracción animal, se usó un arado reversible de vertedera, y una rastra ligera de picos. La profundidad de roturación fue de 10 cm.

²⁾1PR significa un paso de rastra, con tractor; 1PA es un paso de arado, con tractor; 1pa significa un paso de arado con tracción animal; 1pr significa un paso de rastra con tracción animal.

sobrevivencia de ambas especies de leguminosas, así como el diámetro máximo de sus tallos. La lectura se realizó en todos los individuos incluidos en tres tramos de 1m de longitud, en cada terraza y tratamiento. También, en la misma fecha, se hizo la evaluación del avance de las terrazas, en términos de: a) la pendiente actual (PA), b) el espesor máximo de los sedimentos (EMS), c) la altura total del muro vivo (ATM) y d) el volumen de sedimentos retenidos (VSR). Estas mediciones son posibles porque la base de los árboles del seto coincide con la posición de la superficie del suelo al inicio del experimento. Las lecturas se tomaron en dos sitios de todas las terrazas y tratamientos. Las cuatro variables PA, EMS, ATM y VSR son funciones aritméticas y trigonométricas de las

distancias verticales y horizontales de las terrazas, según se aprecia en la Figura 1.

La segunda localidad es una ladera cóncava poco erosionada, de un Vertisol pélico, (Pelludert Típico, franco, mezclado, hipertérmico). La pendiente promedio original es de 8.5%, con valores extremos de 5.2% y 10.8%. En el Cuadro 3 se presentan varias características físicas y químicas del suelo. Se trata de un perfil de textura pesada con: a) contenido pobre a mediano de materia orgánica, b) pH ligeramente ácido, c) alta capacidad de intercambio de cationes y d) alta saturación de bases. El predio se ubica en el ejido Río Tuxtla, a menos de 5 km del sitio en que se condujo el experimento previamente descrito. En el ciclo PV 89-89 se instaló el

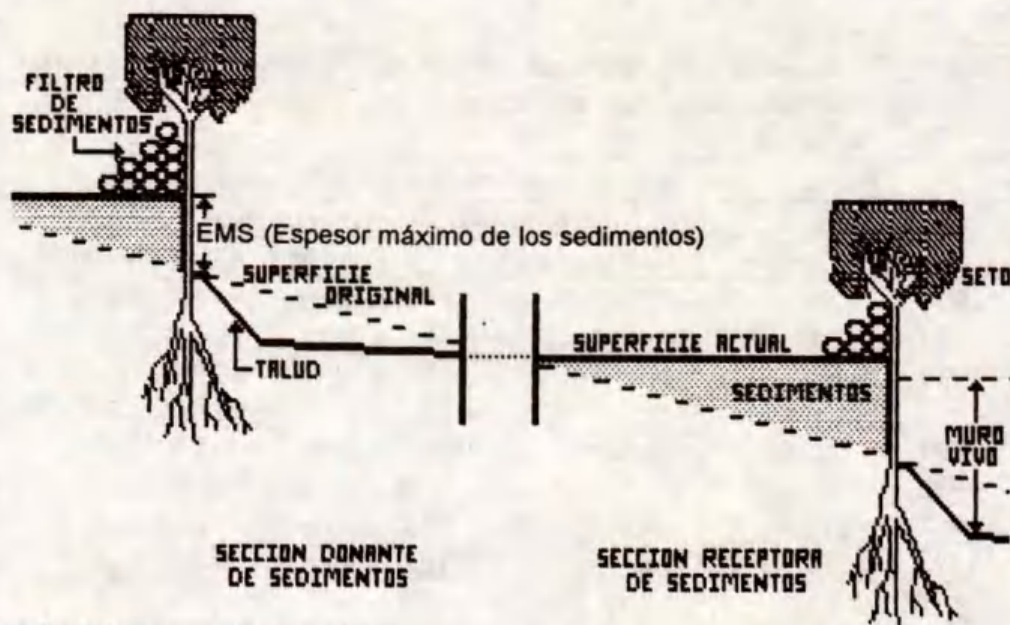


Figura 1. Detalle de la terraza de muro vivo.

tratamiento para desarrollar las TMV siguiente: a) un metro de caída entre setos; b) la especie *G. sepium*; c) el terreno se roturó una vez al año, con arado reversible de discos y con rastra pesada de discos, y d) se instaló el camellón de residuos de cosecha cada año, antes de realizar la labranza primaria. La superficie tratada fue de 0.75 ha, sembrada con el cultivo doble de maíz con sucesión de maíz. Para evaluar el desarrollo de las TMV, se dividió el predio en cuatro secciones de igual magnitud, en el sentido perpendicular a las terrazas. Cada una de estas repeticiones contó con cinco TMV. Las lecturas para evaluar el desarrollo de las terrazas se tomaron en marzo de 1994.

RESULTADOS

En el Cuadro 4 se muestra la precipitación quincenal observada en el sitio experimental Vistahermosa, en el periodo experimental. Como se sabe, las precipitaciones de junio

y de la primera quincena de julio tienen máximo efecto erosivo en terrenos manejados con labranza convencional, porque el cultivo y las malezas están en etapa de plántula y en poco contribuyen a reducir el impacto de las gotas y de la velocidad con que escurre el agua de lluvia. En los años de 1989 a 1993, la precipitación de esas tres quincenas fluctuó entre 276 mm y 482 mm, con media de 399 mm. Se pudo observar en el desarrollo del experimento, que tal acción erosiva fue factor clave de la formación paulatina de las terrazas. Claramente, su efecto fue más decisivo que el efecto de "acarreo del suelo" previsto para el arado reversible. Esto es congruente con la alta erosividad de la lluvia de esta región, según señalan Cortés *et al.* (1990).

El mes de septiembre es el más lluvioso en la mayoría de los años y es, probablemente, en el que se presentan los eventos de lluvia más intensos, que ponen a prueba la viabilidad de

Cuadro 3. Algunas características físicas y químicas del suelo del sitio Río Tuxtla, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Características ¹⁾	Unidades	Estratos del suelo (cm)					
		0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Grupo textural ²⁾		Arc	Arc	Marc	Mare	Mare	Mare
Arcilla, %		48	46	38	20	16	18
Limo, %		18	18	20	14	10	18
Arena, %		34	36	42	66	74	64
pH (agua 1:2)		5.70	5.82	5.98	6.04	6.44	6.47
Materia orgánica	%	3.10	2.53	0.79	0.38	0.25	0.12
Fósforo, Bray P1	ppm	15.1	6.2	1.6	5.7	18.9	17.5
CIC	cmol x kg ⁻¹	36.52	36.48	42.49	39.01	36.03	36.44
Ca ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	23.3	23.3	26.8	23.8	21.7	22.0
Mg ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	12.5	12.5	14.9	14.2	13.4	13.3
K ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.25	0.20	0.11	0.08	0.08	0.09
Na ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.37	0.48	0.55	0.78	0.74	0.95
H ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.11	0.11	0.13	0.15	0.12	0.11
PSB, %		99.7	99.7	99.7	99.6	99.7	99.7

		Estratos del suelo (cm)				
		100-120	120-135	135-150	150-163	163-180
Grupo textural		MMA	MAre	MAre	MAre	MAre
Arcilla, %		22	18	20	16	8
Limo, %		14	16	20	24	16
Arena, %		64	66	60	60	76
pH (agua 1:2)		6.52	6.37	6.47	6.59	6.69
Materia orgánica	%	0.12	0.12	0.09	0.06	0.03
Fósforo, Bray P1	ppm	17.1	12.8	14.0	11.4	11.8
CIC	cmol x kg ⁻¹	37.88	39.65	39.53	40.34	38.04
Ca ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	22.9	24.3	24.0	24.8	23.5
Mg ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	13.7	14.1	14.2	14.4	13.4
K ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.09	0.08	0.12	0.11	0.10
Na ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	1.07	1.04	1.10	0.90	0.92
H ⁺	cmol x kg ⁻¹	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12
PSB		99.7	99.7	99.7	99.7	99.7

¹⁾Métodos: Textura, por Bouyoucos; Materia orgánica por Walkley-Black; CIC (capacidad de intercambio de cationes) con acetato de amonio 1 N pH 7; PSB significa porcentaje de saturación de bases.

²⁾En los grupos texturales: Arc = arcilla, Are = arena, M = migajón MAA = migajón arcillo-arenoso.

las estrategias de conservación de suelos. Para entonces, el índice de área foliar del cultivo ha alcanzado ya su valor máximo y es factor de protección del suelo contra la erosión. La máxima precipitación quincenal observada en el

período experimental, ocurrió en la segunda quincena de septiembre, 817 mm en 1993, 691 mm en 1989 y 558 mm en 1991. Todas las terrazas en formación resistieron los máximos eventos de lluvia. Cabe mencionar que la

estructura compuesta por: a) el seto, b) los residuos vegetales (rastroy de maíz y material de poda) amontonados en camellón aguas arriba y a lo largo del seto y c) el primer paso del arado, que vertía material de suelo sobre los residuos, funcionó razonablemente (Figura 1). La estructura permitió el paso del agua de escurrimiento y retuvo los sedimentos, siempre y cuando, el paso del agua se diera a todo lo largo del seto. Solamente cuando hubo tal concentración localizada de escorrentía, que rebasó la capacidad de la estructura, pudo

ocurrir su ruptura muy localizada que normalmente afectó solo a una terraza, la cual fue fácilmente reparada. En adelante nos referiremos a la estructura descrita, como "filtro de sedimentos". El camellón, compuesto principalmente por rastroy de maíz, permaneció visible un tiempo corto dentro del ciclo, mientras se descomponía el material, y se hacía parte de la terraza, en el contacto entre el área receptora de la terraza y el seto. La estructura filtrante de sedimentos, se reinstaló cada año, precediendo al ciclo primavera-verano.

Cuadro 4. Precipitaciones quincenales observadas durante seis años (1988 a 1993), en el sitio experimental. Ejido Vistahermosa Tilapan, San A. Tuxtla, Veracruz.

Mes	Quincena	Precipitación quincenal observada						Promedio
		1988	1989	1990	1991	1992	1993	
		----- mm -----						
Enero	1a.		28	0	136	0	0	32.8
	2a.		22	71	7	0	22	24.2
Febrero	1a.		21	19	6	58	15	23.8
	2a.		62	41	0	0	0	20.6
Marzo	1a.		0	0	0	0	0	0
	2a.		0	19	0	0	0	3.8
Abril	1a.		5	0	14	113	4	27.2
	2a.		0	4	0	62	46	22.4
Mayo	1a.	0	57	0	33	0	15	17.5
	2a.	0	0	0	30	0	9	6.5
Junio	1a.	288	16	82	0	114	168	111.3
	2a.	145	120	183	128	89	168	138.8
Julio	1a.	88	136	217	236	267	65	168.2
	2a.	131	103	75	14	79	80	80.3
Agosto	1a.	284	76	176	146	164	83	154.8
	2a.	144	70	122	47	252	218	142.2
Septiembre	1a.	92	163	183	30	436	170	179.0
	2a.	250	691	143	558	98	817	426.2
Octubre	1a.	479	12	95	549	274	138	257.8
	2a.	4	105	71	76	228	76	93.3
Noviembre	1a.	29	0	65	67	24	78	43.8
	2a.	19	11	134	38	24	88	52.3
Diciembre	1a.	84	28	27	4	21	8	28.7
	2a.	68	0	0	49	28	22	27.8
Total anual			1726	1727	2168	2331	2290	2079.5

En el Cuadro 5 se muestra la evolución de las pendientes de seis terrazas por tratamiento, en el período experimental, y de cinco terrazas en la localidad Río Tuxtla. En el período de 1988 a 1993, para el sitio Vistahermosa y de 1989 a 1994, para el sitio Río Tuxtla, hubo seis ciclos PV y cinco ciclos OI, manejados con el cultivo de maíz. El seto se podó nueve veces, en tanto que la estructura filtrante de sedimentos se instaló cinco veces.

La pendiente general promedio del sitio Vistahermosa, que era de 14.5% en 1988, cambió hasta 6.1% en 1993, como resultado del proceso de formación de las terrazas. La nueva pendiente es 42% de la pendiente original. También se redujo y por no poco, el microrelieve del terreno, al pasar la desviación estándar de las pendientes desde 4.47% en 1988 hasta 2.9% en 1993. El avance en la reducción general del microrelieve es de 35%. El avance en la formación de cada terraza incluyó un área receptora de sedimentos, delimitada y apoyada sobre el seto, donde alcanza su espesor máximo (Figura 1). Aguas abajo, al pie del seto, se inicia un talud de altura vertical similar al espesor máximo de los sedimentos, tallado en cada ciclo de labranza primaria, por el arado reversible. Inmediatamente tierra adentro del talud, se encuentra el sistema radicular del seto, cumpliendo con la función de estabilizar el talud. Llamaremos "muro vivo" a la estructura compuesta por el talud y las raíces del seto, y por el contacto entre la sección vertical del área receptora de sedimentos, y los tallos del seto. La contraparte al área de la terraza receptora de sedimentos, es el área donante de sedimentos, ubicada en la parte alta de la terraza (aguas abajo del seto de la terraza superior) (Figura 1).

El espesor máximo de los sedimentos, EMS, se midió como la diferencia entre la cota actual de la terraza en el contacto con el muro y la cota de 1988, que es fácilmente distinguible justo al pie del seto. La altura total del muro vivo, ATM, añade al espesor máximo de sedimentos, la diferencia entre la cota de 1988 y la nueva cota aguas abajo y al pie de la misma terraza. Cuando se cultiva maíz, el espacio no aprovechable de una terraza, es estrictamente el área ocupada por el talud, ya que el seto se maneja con podas severas, para limitar su competencia con el cultivo.

Se estimó el equivalente de la lámina erosionada del suelo original según su tratamiento de roturación, retenida en la TMV, a partir del área de la sección de los sedimentos retenidos en cada terraza (Figura 1) y de las densidades aparentes de los sedimentos y del testigo.

Los cuatro primeros tratamientos del Cuadro 5 involucran un arreglo factorial 2^2 para los factores: caída entre setos y especie leguminosa empleada en el seto, en el sitio Vistahermosa. Es posible evaluar el efecto de tales factores sobre la evolución de la pendiente de las terrazas, pero no se pueden realizar pruebas de hipótesis sobre su magnitud relativa, por no disponerse de una medida estricta del error experimental. Adicionalmente, la expresión de las pendientes del suelo de manera porcentual aleja más la posibilidad de realizar las pruebas de hipótesis, al no distribuirse los porcentajes como una población normal. Se supondrá, sin embargo, lo necesario, y se usará a la variación entre terrazas como estimación "proxi" del error experimental, con una posición muy conservadora en cuanto a las pruebas de hipótesis.

Cuadro 5. Pendientes medias de las terrazas de muro vivo, estimadas al inicio y cinco años después, en dos localidades y cinco tratamientos experimentales.

Tratamiento y año	Pendientes medias observadas en seis terrazas						Media ± DE ²⁾
	1 ¹⁾	2	3	4	5	6	
Ejido Vistahermosa							
----- % -----							
1.0-TA-G.s.³⁾							
1988		11.3	11.6	13.9	12.3	16.3	13.1 ± 2.4
1993		8.1	7.2	8.7	7.5	10.7	8.5 ± 1.6
avance ³⁾ (%)		28.5	37.9	37.1	39.0	34.1	35.4
1.0-TA-L.L.							
1988	17.3	17.2	13.1	10.9	12.9	20.3	15.3 ± 3.8
1993	10.0	8.3	7.7	6.2	7.5	13.6	8.9 ± 2.7
avance	42.2	51.7	41.5	43.2	42.2	33.0	42.0
0.75-TA-G.s.							
1988	24.6	21.1	14.9	15.4	10.8	9.6	16.1 ± 5.8
1993	2.9	1.5	5.4	3.4	5.8	4.7	3.9 ± 2.0
avance	88.3	92.8	63.7	78.1	45.8	51.4	75.4
0.75-TA.L.L.							
1988	17.4	13.2	11.5	9.8	9.7	10.5	12.0 ± 3.0
1993	2.7	0	5.4	4.1	5.7	5.8	3.9 ± 2.3
avance	84.3	100	53.0	57.8	41.9	44.8	67.1
1.0-TM-G.s.							
1988	24.9	16.7	11.2	13.4	12.0	18.9	16.2 ± 5.3
1993	5.4	5.1	4.4	5.8	5.1	6.0	5.3 ± 0.9
avance	78.3	69.5	60.8	57.0	57.7	68.2	67.3
Media general							
1988							14.6 ± 4.5
1993							6.8 ± 0.77
avance							57.9

Ejido Río Tuxtla							
1.0-TM-G.s.							
1989	6.3	8.4	9.2	9.3	9.3		8.5 ± 0.98
1994	5.3	7.1	7.2	7.2	7.2		6.1 ± 2.9
1994	5.3	7.1	7.2	7.2	7.2		19.7
avance	15.9	15.5	21.7	22.6	22.6		

Análisis de varianza de la reducción en la pendiente (Vistahermosa)

Factor	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft _{5%}	Ft _{1%}
Tratamientos	3	4974.64458	1658.21486	6.820**	3.098	4.938
Efecto Prin L	1	0.51042	0.51042	<1 ns		
Efecto Prin C	1	4706.80042	4706.80042	17.606**	4.351	8.096
Int LXC	1	267.33375	267.33375	1.099ns	4.351	8.096
Error	20	4863.09122	243.15156			
Total	23	9837.73580				

¹⁾ Se tomaron dos lecturas en cada terraza.

²⁾ DE significa desviación estándar, calculada con 11 gl para las observaciones a nivel de tratamiento. La DE incluye la variación entre y dentro de terrazas, para un tratamiento dado, en Vistahermosa. 3/100% cuando la pendiente alcanzada fuera de 0%.

³⁾ 1.0 y 0.75 = altura de caída (m); TA = tracción animal; TM = tracción mecánica; 6.5 = G. Sepium; L.l. = *L. Leucocephala*.

Se pueden hacer tres comparaciones ortogonales entre los cuatro tratamientos: 1) el efecto principal de la caída entre setos, 2) el efecto principal de la especie leguminosa, y 3) su interacción. En la parte inferior del Cuadro 5 se muestra el análisis de varianza de los tres efectos factoriales, expresados en términos de los avances en la reducción de las pendientes, desde la pendiente original, hasta la pendiente cero. Dentro de las limitaciones previamente expuestas, el efecto principal del factor "caída entre setos" es significativo a 1% de cometer error tipo I. La diferencia por este concepto es de 28%, en favor de la caída de 0.75 m entre setos. Las tendencias observables en el Cuadro 5, en términos de las pendientes originales y las observadas en 1993, y los avances porcentuales correspondientes, son claramente consistentes con aquella conclusión.

Los tratamientos 1.0-TA-G.s.(1 m de caída, tracción animal, *G. sepium*) y 1.0-TM (tracción mecánica)-G.s. involucran la misma caída entre setos y la misma especie leguminosa, y difieren solamente en el tipo de tracción y en los implementos usados, según se explica previamente. Cuando se usó el tractor y sus implementos, el avance promedio en la reducción de las pendientes fue de 67.3%, (100% cuando la pendiente actual fuera de 0%), en tanto que en el caso de la tracción animal y sus implementos ligeros, el avance fue de 35.4%. Al suponer lo necesario y realizar la prueba de hipótesis, se aprecia que esta diferencia es significativa a 1%. De nueva cuenta, las tendencias observables en el Cuadro 5 son consistentes con aquella conclusión, y son claras. También se puede evaluar el impacto del tratamiento 1.0-TM-G.s. sobre el cambio en las pendientes, en ambas localidades, Vistahermosa y Río Tuxtla. Esta comparación confunde, sin embargo, las interacciones entre aquel tratamiento y los

factores pendiente original y orden de suelos, ya que ambos factores cambian a la vez. De todos modos, se aprecia que el avance en la reducción de la pendiente después de cinco años, fue apreciablemente menor en el sitio Río Tuxtla (19.7%), que en el sitio Vistahermosa (67.3%).

En el Cuadro 6 se muestran otras dimensiones complementarias del avance en la formación de las terrazas: 1) el espesor máximo de los sedimentos (EMS), 2) la altura total de los muros vivos (ATM) y 3) la fracción del espacio aprovechable en las terrazas (FEA). Se aprecia en este cuadro que: 1) el espesor máximo de sedimentos alcanza el valor promedio de 27 cm en el sitio Vistahermosa, con desviación estándar de 8.2 cm, y de 12.9 ± 2.4 cm en Río Tuxtla; 2) la altura total del muro vivo (ATM) es de 51 ± 13.5 cm en Vistahermosa, y de 21.6 ± 3.2 cm en Río Tuxtla; 3) la fracción del espacio aprovechable (FEA) es respectivamente de $92 \pm 2.7\%$ y 95.8 ± 0.9 , para los mismos sitios.

En la parte inferior del Cuadro 6 se muestran las pruebas de hipótesis explicadas en el Cuadro 5, para las variables EMS, ATM y FEA, en el sitio Vistahermosa. Para la variable espesor máximo de sedimentos, sólo la interacción caída del seto X especie leguminosa resulta significativa a 1%. Tal implica que cuando se usa la especie *G. sepium* como seto, el tratamiento de caída de 0.75 m se asocia con un mayor EMS (28 cm) que para la caída de 1 m (19 cm). En cambio, cuando se usa como seto a la especie *L. leucocephala*, la variable EMS vale 24 cm si la caída es de 0.75 m, y 26 cm si la caída es de 1 m. Ninguno de los tres contrastes ortogonales es significativo para las variables ATM o para FEA. En cambio, la diferencia entre los tratamientos 1.0-TA-G.s. y 1.0-TM-G.s. sí es significativa y es muy clara,

Cuadro 6. Espesor máximo de sedimentos, altura total de los muros vivos, y fracción de espacio aprovechable en terrazas de muro vivo, asociadas con cinco tratamientos experimentales, después de 5 años de evolución, en dos localidades.

Tratamientos ²⁾	Características de las terrazas ¹⁾		
	Espesor máximo de sedimentos cm	Altura total del muro vivo cm	Fracción del espacio aprovechable %
Ejido Vistahermosa			
1.0-TA-G.s.	19.4 ± 4.8	41.4 ± 5.4	93.4 ± 2.2
1.0-TA-L.l.	26.2 ± 5.2	47.3 ± 9.1	93.3 ± 1.3
0.75-TA-G.s.	28.3 ± 6.0	51.4 ± 14.2	90.6 ± 4.0
0.75-TA-L.l.	24.2 ± 7.7	45.4 ± 13.3	92.4 ± 1.5
1.0-TM-G.s.	35.6 ± 7.7	65.7 ± 9.1	90.9 ± 2.7
Promedio	27.0 ± 8.2	50.6 ± 13.5	92.1 ± 2.7
Ejido Río Tuxtla			
1.0-TM-G.s.	12.9 ± 2.4	21.6 ± 3.2	95.8 ± 0.9

Análisis de varianza para las variables EMS, ATM y FEA en la localidad Vistahermosa

Factor ³⁾	GL	Espesor máximo de sedimentos		Altura total del muro vivo		Fracción del espacio aprovechable	
		CM	Fc	CM	Fc	CM	Fc
Tratamientos	3	84.9444	3.997 ns	99.4861	<1ns	10.2260	2.161 ns
EP L ⁴⁾	1	10.6667	<1 ns	0.0417	<1ns	4.5937	<1 ns
EP C	1	73.5000	3.459 ns	100.0417	<1ns	19.9838	4.222ns
Int LXC	1	170.6667	8.125**	198.3750	1.705ns	6.1004	1.291 ns
Error	20	21.2500		116.3250		4.7329	
Total	23						

¹⁾Son seis terrazas por tratamiento y dos lecturas por terraza.

²⁾1.0-TA-G.s. = 1 m de caída entre setos, labranza primaria con tracción animal, y usando *G. sepium* en el seto; TM = tracción mecánica; L.l. = *L. leucocephala*.

³⁾GL es grados de libertad; CM es cuadrado medio; Fc es F calculada.

⁴⁾EP L es efecto principal de especie leguminosa; EP C es efecto principal de caída entre setos y Int LXC es la interacción entre los factores especie leguminosa y caída entre setos.

EMS = espesor máximo de sedimentos; ATM = altura total de los muros vivos; FEA = fracción del espacio aprovechable en las terrazas.

para las tres variables EMS, ATM y FEA. En el sitio Vistahermosa, la labranza realizada con tractor y sus implementos, se asoció con un

mayor espesor máximo de sedimentos, una mayor altura del muro vivo y una menor fracción de espacio aprovechable, que cuando

se realizó la labranza con tracción animal y sus implementos más ligeros.

Para entender más los procesos involucrados en el desarrollo de las terrazas de muro vivo, se cotejó la hipótesis de que el espesor máximo de sedimentos estaba afectado por la pendiente original y por los tratamientos experimentales, que tal habría de ser así, en virtud del papel del proceso erosivo local sobre el desarrollo de la terraza. La pendiente del suelo interaccionaría con a) el grado de desmenuzamiento de la cama de siembra, b) la caída vertical entre los setos y c) la especie leguminosa, como factores de la erosión local. Si se mantuvieran constantes los factores de la erosión, excepto la pendiente, la Ecuación Universal de las Pérdidas de Suelo predeciría una relación lineal entre la pendiente y la cantidad de suelo perdido por erosión hídrica (Wischmeier, 1976). Como se aprecia en la Figura 1, el proceso de deposición de sedimentos involucra una sección triangular creciente, en la que la magnitud de EMS o lado medido no es función lineal del área del triángulo. Por la misma razón, un volumen dado de sedimentos requeriría una menor magnitud de EMS cuando está por alcanzarse la pendiente igual a cero en la terraza, que cuando se inicia el proceso de deposición de sedimentos. En consecuencia, sería predecible que la relación entre la variable dependiente EMS y la independiente POL (pendiente original local) fuera de tipo de incrementos decrecientes, aun cuando la relación entre POL y la pérdida de suelo fuera lineal, si es que el "filtro de sedimentos" funcionara de manera perfecta. Empero, tal función $EMS=F(POL)$, habría de ser necesariamente monotónica, es decir, que no admitiría un máximo relativo, a menos de que el filtro perdiera eficiencia al aumentar la pendiente por encima de algún límite crítico.

Se ajustó una ecuación de regresión entre el espesor máximo de sedimentos, EMS, y la pendiente original local, POL, en ambos sitios. Se añadieron cuatro variables mudas, TR1, TR2, TR3 y TR4 para separar los efectos de los cinco tratamientos, más los cuatro productos cruzados de esas cuatro variables con la pendiente POL, y otras cinco variables mudas T1 a T5, para separar los efectos de seis terrazas, en el sitio Vistahermosa. En cada terraza-tratamiento se tomaron dos lecturas de las variables EMS y POL, según se explica previamente, lo que rindió 58 observaciones en vez de 60, debido a dos faltantes. Se restó el valor de 14.5, que fue el valor medio observado de la misma variable en el sitio Vistahermosa a la variable pendiente original local. En el sitio Río Tuxtla se usaron cuatro variables mudas T1 a T4 para cinco terrazas, y sus productos cruzados con la variable POL. En este caso se restó el valor 8.5 a la variable POL, por ser ésta la pendiente promedio del sitio.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados del ejercicio de regresión. Las ecuaciones obtenidas por el procedimiento Regresión Progresiva Modificada (Stepwise), explican 71.5% de la variación en la variable EMS en Vistahermosa, y 51.5% en Río Tuxtla. La prueba de hipótesis sugiere también una alta probabilidad de que los coeficientes no deriven del azar (la probabilidad de obtener una F al azar mayor a la F calculada, es de 0.0001 en Vistahermosa y de 0.01 en Río Tuxtla). Ambas ecuaciones de regresión sugieren claras asociaciones entre el espesor máximo de sedimentos, EMS, y la pendiente original local, POL. En el sitio Vistahermosa hay efecto de los tratamientos (variable muda TR1) y de las terrazas (variable muda T3), en tanto que en el sitio Río Tuxtla la variable POL interacciona con una de las variables mudas de terraza (POL X T3).

Cuadro 7. Asociación entre el espesor máximo de sedimentos, la pendiente original local y los tratamientos experimentales, en el proceso de formación de terrazas de muro vivo.

Variable dependiente EMS

a. Sitio Vistahermosa

Variable	Coefficiente de regresión	GL	Cuadrado medio	Fc	Prob>F
Regresión ¹⁾		4	679.270387	33.21	0.0001
Ordenada	27.701259		26839.029150	1312.36	0.0001
POL-14.5	1.040253	1	725.512662	35.48	0.0001
(POL-14.5) ²	-0.052997	1	91.765314	4.49	0.0389
TR1	-7.097019	1	1041.879041	50.95	0.0001
T3	-3.811210	1	280.513392	13.72	0.0005
Error		53	20.450966		

Coefficiente de determinación $R^2 = 71.5\%$

b. Sitio Río Tuxtla

Regresión		2	82.329023	9.04	0.0121
Ordenada	12.94214			367.46	0.0001
POL-8.5	1.62924	1	109.427455	12.02	0.0029
(POL-8.5)T3	-2.26964	1	70.054650	7.69	0.0130
Error		17	9.105409		

Coefficiente de determinación $R^2 = 51.5\%$

Ecuación de regresión

Tratamiento²⁾

1. Sitio Vistahermosa; Alfisol

EMS = 20.6042 + 1.04025 (POL-14.5) - 0.052997 (POL-14.5)² 1.0-TA-G.s.
 EMS = 27.7013 + 1.04025 (POL-14.5) - 0.052997 (POL-14.5)² 1.0-TA-L.L.,
 0.75-TA-G.s.,
 y 0.75-TA-L.L.

EMS = 34.7983 + 1.04025 (POL-14.5) - 0.052997 (POL-14.5)² 1.0-TM-G.s.
 EMS = 26.6489 + 1.66622 (POL- 8.5) - 0.052997 (POL-8.5)² 1.0-TM-G.s.

2. Sitio Río Tuxtla; Vertisol

EMS = 12.9421 + 1.62924 (POL-8.5) 1.0-TM-G.s.

¹⁾TR1 a TR4 son cuatro variables mudas para cinco tratamientos, T1 a T5 son cinco variables mudas para seis terrazas.

EMS = espesor máximo de sedimentos; POL = pendiente original local.

²⁾tratamientos, ver Cuadro 5.

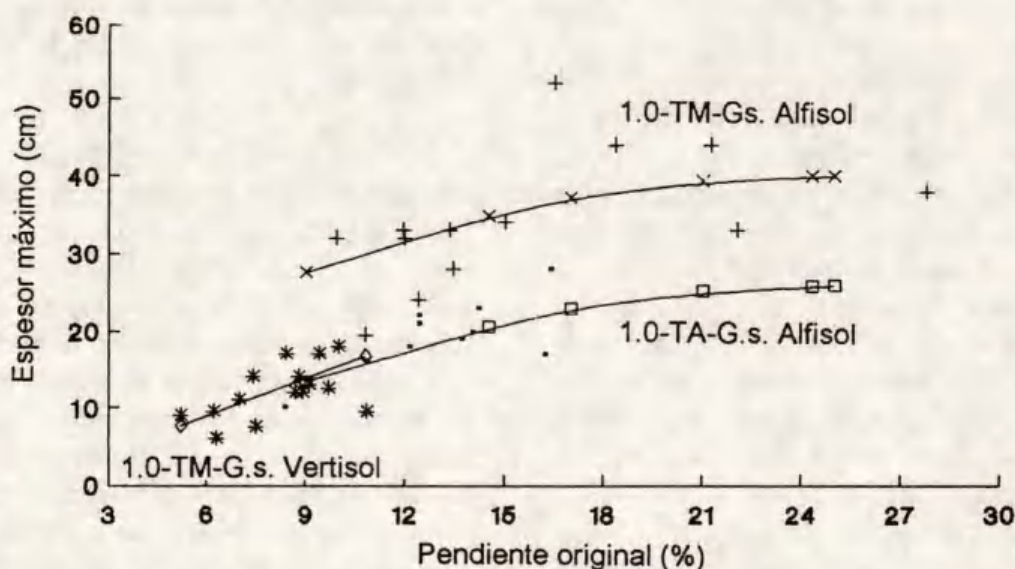


Figura 2. Asociación entre el espesor máximo de sedimentos y la pendiente original. 1.0 (altura de caída un metro); TM (tracción mecánica); TA (tracción animal); G.s. (*Gliricida sepium*).

En la parte inferior del Cuadro 7 se presentan las ecuaciones de regresión para los tratamientos que difieren entre sí, en ambas localidades. En la Figura 2 se presentan las funciones correspondientes a las ecuaciones de regresión y los valores observados. Resalta la característica cuadrática de la asociación entre las variables EMS y POL, en el sitio Vistahermosa, independientemente del tratamiento. Esta característica es aparentemente consistente con lo previsto por la Ecuación Universal de las Pérdidas de Suelo, y con un funcionamiento perfecto del filtro de sedimentos, como se señala previamente. Sin embargo, dentro del ámbito de los valores de POL observados en Vistahermosa (8.36% a 27.77%), la ecuación de regresión ubica un máximo relativo para EMS, a saber, para POL = 24.3%. La ecuación predice que para valores de POL mayores a 24.3% el valor de EMS decrecería. Tal implica, aparentemente, una

pérdida de eficiencia del filtro de sedimentos, cuando la pendiente rebasa algún valor, tal vez inferior a 24.3%.

También se aprecia en la parte inferior del Cuadro 7 que los efectos de los tratamientos experimentales se reflejan tan solo en la ordenada al origen de cada ecuación de regresión, en el sitio Vistahermosa. Esto es así, por no resultar significativas las interacciones entre las variables mudas para tratamientos y la variable POL. Resalta la diferencia en ordenada al origen entre los tratamientos 1.0-TA-G.s., (20.6 cm) y 1.0-TM-G.s., (34.8 cm), que fueron roturados con diferente intensidad. La ordenada al origen indica el valor estimado de EMS cuando POL = 14.5%. Aparentemente, la diferencia de 14.2 cm podría ser atribuible, de acuerdo con la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, al mayor grado y profundidad de desmenuzamiento de la cama

de siembra, logrado con el tratamiento 1.0-TM-G.s. (Johnson *et al.*, 1979).

El efecto del orden de suelos (Alfisol en Vistahermosa y Vertisol en Río Tuxtla) sobre la relación entre las variables EMS y POL, puede apreciarse también en el Cuadro 7 y en la Figura 2. Para facilitar esta comparación, conviene trasladar el origen de la ecuación de Vistahermosa al valor de POL = 8.5%, que es el punto en el que se expresa la ecuación de Río Tuxtla. Esa ecuación también aparece en el Cuadro 7. Se aprecian a) una ordenada al origen 13.7 cm mayor para el Alfisol (Vistahermosa), que para el Vertisol (Río Tuxtla), donde el valor de POL es de 8.5%; b) casi la misma pendiente para ambos órdenes de suelos en el mismo punto POL = 8.5%; y c) una curvatura de cero para el Vertisol, en tanto que, la curvatura es negativa para el Alfisol. Parece razonable aceptar tentativamente que la ausencia de una curvatura negativa en el sitio Río Tuxtla, podría deberse al reducido ámbito de la variable POL, de 5.2% a 10.8%, como se aprecia en la Figura 2, mientras que para el Alfisol, el ámbito es de 8.36% a 27.77%. La evidencia también parece sugerir que la relación entre ambas variables EMS y POL en los dos órdenes de suelos, podría diferir tanto en la ordenada al origen como en la curvatura. En tal caso, el valor de POL asociado con el valor máximo de EMS sería diferente a 24.3%, para el Vertisol.

En lo que corresponde a la ordenada al origen, la evidencia sugiere que el Vertisol (Río Tuxtla) es menos erosionable que el Alfisol (Vistahermosa), bajo las mismas condiciones de manejo: 1.00-TM-G.s. Es también posible, aunque no se cuenta con tal evidencia, que el valor de POL para el que el filtro de sedimentos deje de ser eficiente en su retención de sedimentos, sea mayor para el Vertisol que

para el Alfisol estudiado. De todos modos, lo observado implica que el proceso de formación de TMV sería más lento en los Vertisoles que en los Alfisoles.

Lo hasta aquí examinado, en cuanto al mecanismo de formación paulatina de las TMV, sugiere que la pendiente original, la intensidad de la roturación, y el orden del suelo, son factores del avance en el espesor máximo de sedimentos; no así, la caída del seto y la especie leguminosa empleada en el seto. Por lo tanto, el avance detectado en cuanto a la reducción de la pendiente superficial que se asoció con la caída entre setos en el Alfisol (Cuadro 5) no se debería a un diferente avance en las variables EMS o ATM (altura total del muro vivo). El avance diferente en la reducción de la pendiente se explica por el menor espacio horizontal entre los setos, en el caso de la caída de 0.75 m, en comparación con la caída de 1.0 m, para una misma pendiente original. La pendiente original promedio era 14.19% para la caída de 1.0 m y de 14.03% para la caída de 0.75 m. En cambio, el avance en la reducción de la pendiente entre los tratamientos de igual caída 1.0-TA-G.s (tracción animal) y 1.0-TM-G.s. (tracción motorizada) que se aprecia en el Cuadro 5, se debió a la acción conjunta de: a) una mayor pendiente original promedio (16.17%) para el tratamiento 1.0-TM-G.s., que para el tratamiento 1.0-TA-G.s. (13.09%); y b) el efecto del factor intensidad de la roturación: (tractor y sus implementos vs tracción animal y sus implementos).

La roturación anual del suelo de ambas laderas bajo estudio durante el período 1988-1993, una en un Alfisol y la otra en un Vertisol, ha provocado un proceso erosivo que desafortunadamente no fue evaluado. Conjeturamos que el proceso erosivo asociado con

los tratamientos de labranza ligera (tracción animal), habría sido menor que la asociada con el tratamiento de labranza intensa (tracción motorizada). El tratamiento testigo reflejaría, en 1993 para el Alfisol, el efecto acumulado de la erosión asociada con la labranza intensa, bajo la ausencia del resto de los factores de la formación de las TMV.

En el Cuadro 8 se muestran algunas implicaciones sobre la protección contra la erosión, que derivan de los tratamientos para el desarrollo de las TMV, para el Alfisol (sitio Vistahermosa). Ambos tratamientos roturados con tracción animal: 1.0-TA y 0.75-TA condujeron a la retención de un volumen semejante de sedimentos ($720 \text{ m}^3/\text{ha}$), en las TMV formadas durante el período 1988 a 1993. Al tomar en cuenta el cambio en densidad aparente (DA) entre la sección donante de sedimentos y la sección receptora,

se estima que la TMV rescata la lámina de 70 mm de la lámina erosionada total durante el período de 1988 a 1993. En el caso del tratamiento 1.0-TM, el volumen retenido de sedimentos: $937 \text{ m}^3/\text{ha}$ es significativamente mayor que cuando la roturación es ligera (tracción animal). La TMV, así desarrollada, rescata la lámina de 89 mm de la lámina total erosionada durante 1988 a 1993. Como se sugiere previamente, la roturación intensa habría provocado un proceso de erosión más acusado que la labranza ligera. Desafortunadamente, no se capturó la información pertinente a estos procesos erosivos, lo que habría permitido estimar la eficiencia de los tratamientos, en torno al proceso de formación de terrazas. La mayor retención de sedimentos por parte del tratamiento 1.0-TM, podría explicarse con la misma o aun una menor eficiencia que el tratamiento 1.0-TA, en cuanto a la retención de sedimentos, y una mayor erosión local.

Cuadro 8. Equivalente de volumen total de sedimentos retenidos por hectárea en seis terrazas y equivalentes de lámina de suelo rescatadas de la erosión en el período de 1988 a 1993, según tres tratamientos de TMV en un Alfisol, en el sitio Vistahermosa.

Tratamiento ¹⁾	Volumen de sedimentos retenidos ²⁾ m^3/ha	Densidad aparente ³⁾ en la sección:		Lámina de suelo retenida mm
		Donante g/cm^3	Receptora g/cm^3	
1.0-TA	687 ± 109			
0.75-TA	754 ± 96			
TA	720 ± 71	1.447	1.413	70
1.0-TM	937 ± 175	1.465	1.388	89

¹⁾1.0-TA significa un metro de caída entre setos y roturación con tracción animal (roturación ligera); 0.75-TA difiere sólo en la caída entre setos; 1.0-TM significa caída de un metro y roturación (intensa) con tracción motorizada.

²⁾Las lecturas son promedios de 22 observaciones para 1.0-TA, 24 observaciones para 0.75-TA y 12 para 1.0-TM. Se incluyen los intervalos de confianza a 5%.

³⁾Estimada en el estrato 0-20 cm, por el método del cilindro

Cuadro 9. Altura de planta, diámetro basal de tallo de *Gliricidia sepium* y de *Leucaena leucocephala*, 110, 170 y 230 días después de la siembra, según cuatro tratamientos experimentales.

Variable ¹⁾	Tratamiento ²⁾ :		Desarrollo de dos leguminosas en tres períodos					
	Control de malezas	Fertilización con P	<i>G. Sepium</i>			<i>L. leucocephala</i>		
			110	170	230	110	170	230
Altura de planta (cm)	sin	sin	62	88	61	15	33	32
	sin	con	76	92	80	29	65	47
	con	sin	75	88	115	26	46	110
	con	con	93	113	170	41	88	142
Diámetro basal (mm)	sin	sin	6.3	15.2	11.4	1.3	3.4	3.3
	sin	con	8.7	15.3	15.2	3.0	6.0	4.8
	con	sin	8.3	16.6	19.6	2.8	5.4	9.8
	con	con	9.9	18.4	24.6	4.0	9.2	11.3

¹⁾Los valores son promedios de siete repeticiones.

²⁾El control de malezas se realizó manualmente, a los 30, 60 y 120 días después de la siembra. El fertilizante fosfórico se aplicó a razón de 44 g de superfosfato triple de calcio, por metro lineal de seto.

Cuadro 10. Comportamiento de *Gliricidia sepium* y de *Leucaena leucocephala*, manejadas como setos en las terrazas de muro vivo, después de seis años¹⁾.

Tratamientos ²⁾	Diámetro basal ³⁾ mm	Intervalo entre plantas cm	Factor de sobrevivencia
1.0-TA-G.s.	26.7 ± 1.62	18.5 ± 2.9	0.96 ± 0.02
1.0-TA-L.l.	22.6 ± 2.26	24.8 ± 5.5	0.79 ± 0.06
0.75-TA-G.s.	23.0 ± 0.81	12.3 ± 1.0	0.91 ± 0.03
0.75-TA-L.l.	22.0 ± 2.25	40.2 ± 11.9	0.45 ± 0.06
1.0-TM-G.s.	22.5 ± 0.63	16.8 ± 4.9	0.91 ± 0.02
<hr/>			
<i>G. Sepium</i>	24.1 ± 0.59	15.9 ± 1.7	0.93 ± 0.01
<i>L. leucocephala</i>	22.3 ± 1.59	32.5 ± 6.1	0.62 ± 0.04

¹⁾Se tomaron las lecturas en tres sitios de siete terrazas por tratamiento. La unidad de lectura fue un metro lineal de seto.

²⁾Ver Cuadro 5.

³⁾La desviación estándar incluye la variación entre y dentro de terrazas, de cada tratamiento.

Si la estructura filtrante de sedimentos es útil para el desarrollo del muro vivo, también lo es el seto mismo, como su estabilizador, mediante su sistema radicular, pivotante y profundo. En el Cuadro 9 se muestran los resultados del experimento realizado para cotejar hipótesis pertinentes al manejo temprano del seto. Los efectos de controlar las malezas durante los primeros 120 días de desarrollo y de fertilizar con fósforo, son evidentes para ambas especies, tanto en términos de la altura promedio de los árboles, como de su diámetro basal. Los efectos principales de ambos factores son positivos y también lo es su interacción. Es también claro que *G. sepium* creció más rápidamente que *L. leucocephala*.

En el Cuadro 10 se muestran medidas del desempeño actual de ambas especies, después de haber sido podadas nueve veces, de manera severa. Se aprecia que el diámetro basal promedio de los individuos de la especie *G. sepium* es de 24.1 mm, no muy diferente de *L. leucocephala* que promedió 22.3 mm. El intervalo promedio actual entre plantas, es de casi 16 cm para *G. sepium*, en contraste con 32 cm para *L. leucocephala*. Finalmente, hay casi 93% de sobrevivencia para los individuos de *G. sepium*, y sólo de 62% para los individuos de *L. leucocephala*.

CONCLUSIONES

1. Es posible desarrollar gradualmente terrazas de muro vivo en laderas de un Alfisol con pendiente de 14.5% y de un Vertisol con pendiente de 8.5%, en el trópico subhúmedo de México, mediante un manejo agronómico, que tiene las siguientes características: 1) labranza convencional, 2) setos de leguminosas arbóreas en contorno,

con caídas de 1 m o de 0.75 m, y 3) camellones de residuos de cosecha apoyados sobre el seto, que actúan como estructura filtrante de sedimentos. La pendiente original de ambas laderas se redujo gradualmente, durante un período de 5 años, hasta el valor de 6.1% en el Alfisol y hasta 6.8% en el Vertisol. Se acumularon sedimentos que alcanzaron espesores máximos promedio de 27 cm y 12.9 cm, en ambos suelos; la altura total del muro vivo alcanzó los valores promedio de 51 cm y de 21.6 cm; el espacio aprovechable del terreno en las terrazas, es en promedio de 92% y de 95.8%, respectivamente, en ambos suelos.

2. El avance en la acumulación de sedimentos en las terrazas estuvo afectado por: 1) la pendiente original (incrementos decrecientes), 2) la intensidad de la roturación (relación directa), y 3) el orden del suelo (Alfisol > Vertisol).
3. La evidencia sugiere que la estructura filtrante de sedimentos funciona eficientemente dentro de ciertos límites de pendiente, en el Alfisol estudiado. El límite alto de pendiente podría ser inferior al 24%. No se exploraron pendientes fuertes en el caso del Vertisol.
4. Las TMV formadas bajo el tratamiento de roturación ligera, (tracción animal) en el Alfisol, rescataron la lámina total de suelo de 70 mm del proceso erosivo, en el período de 1988 a 1993. Las TMV desarrolladas bajo roturación intensa (tracción motorizada) en el mismo Alfisol, rescataron la lámina de suelo de 89 mm, del proceso erosivo.
5. En conjunto, las terrazas experimentales resistieron intensidades de lluvia hasta de

casi 900 mm, en 15 días, durante la etapa en que el cultivo de maíz alcanza su máxima área foliar.

6. La especie *Gliricidia sepium* mostró un mayor porcentaje de sobrevivencia y un mayor diámetro basal, que la especie *Leucaena leucocephala*, después de nueve podas radicales, en un período de cinco años.

LITERATURA CITADA

- ARIAS R., H.M. y B. FIGUEROA S. 1992. La Ecuación Universal de las Pérdidas de Suelo en la cuenca del río Texcoco. *Terra* 10: 257-261.
- CELESTINO, F. A. 1984. Farming systems approach to soil erosion control and management. pp. 64-70. *In*: E.T. Craswell, J.V. Remenyi, and L.G. Nallana (eds.). Soil Erosion Management. Proceedings of a Workshop held at PCARRD, Los Baños, Philippines.
- CORTES T., H., B. FIGUEROA S., F. V. GONZALEZ C., y E.J. VENTURA R. 1990. Mapa preliminar de la erosividad de la lluvia en México. p. 241. *In*: Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Durango, México.
- ESCOBEDO R., J.S. 1984. Calibración de un pluviómetro de poliducto con otros de tipo comercial. *Terra* 2: 80-84.
- FAO. 1987. Elementos de agrimensura. Manejo del agua de riego. Manual de campo No. 2. Roma Italia.
- GRIMSHAW R.G. 1994. The role of vetiver grass in sustaining agricultural productivity. *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science* 7a: 87-97. Acapulco, México.
- JOHNSON, C.B., J.W. MANNERING, and W.C. MOLDENHAUER. 1979. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:772-777.
- JUO, A.S.R., J.O. CALDWELL, and B.T. KANG. 1994. Place for alley cropping in sustainable agriculture in the humid tropics. *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science*. 7a.: 98-109. Acapulco, Mexico.
- KANG, B.T., H. GRIMME, and T.L. LAWSON. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in Southern Nigeria. *Plant and Soil* 85: 267-277.
- LUNDGREN, B., and P.K.R. NAIR. 1985. Agroforestry for soil conservation. pp. 703-717. *In*: El-Swaify, S.A., W.C. Moldenhauer and Andrew Lo (eds.) Soil erosion and conservation. Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa.
- MENDOZA R.R., J.I. CORTES F., A. TURRENT F., J. J. CASTELLON G., y J. DIAZ A. 1994. Desarrollo de la multibarra portaimplementos de tracción animal, línea Plan Puebla. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- NAIR P.K.R., M.R. RAO, and E.C.M. FERNANDES. 1994. Tree-crop interactions in sustainable agroforestry systems. *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science* 7a: 110-137. Acapulco, México.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1993. Vetiver grass: A thin green line against erosion. National Academy of Science Press. Washington D.C., USA.
- PACARDO, E. P. 1984. Soil erosion and ecological stability. pp. 82-85. *In*: E.T. Craswell, J.V. Remenyi and L.G. Nallana (eds.). Soil erosion management. Proceedings of a Workshop held at PCARRD, Los Baños, Philippines.
- PANINGBATAN Jr. E.P. 1990. Alley cropping for managing soil erosion in sloping lands. *Transactions of the 14th World Congress of Soil Science* VII: 376-377. Kyoto, Japan
- RITCHIE, S.W., and J.J. HANWAY. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Ames, Iowa, USA.
- TURRENT F., A. 1986. Estimación del Potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- URIBE G., S. 1985. Evaluación de alternativas para el aprovechamiento de la fuerza de trabajo en pequeñas unidades de producción en el trópico de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- VAZQUEZ A., V. 1987. La Erosión y conservación del suelo en México. Realidades y perspectivas. Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. SARH. México, D.F.
- WORLD BANK. 1987. Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*): A method of vegetative soil and moisture conservation. 2nd ed. PS. Press Services PVT. LTD. New Delhi, India.
- ZUÑIGA G., J.L., R. CAMACHO C., S. URIBE G., F. NICOLAS N. y A. TURRENT F. 1993. Terrazas de muro mivo para sustentar la Productividad de terrenos agrícolas de ladera. Folleto Técnico No. 6. CIRGOC-INIFAP. Isla, Veracruz, México.

LA TERRAZA DE MURO VIVO PARA LADERAS DEL TROPICO SUBHUMEDO DE MEXICO.

II. CAMBIO EN ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO

The Living Wall Terrace for Sustainable Hill Farming in the Subhumid Tropic of Mexico.

II. Change in Some Chemical and Physical Soil Properties

A. Turrent Fernández¹⁾, S. Uribe Gómez²⁾, N. Francisco Nicolás²⁾, R.
Camacho Castro²⁾, M. Espinosa Russi¹⁾ y R. Moreno Dahme¹⁾.

¹⁾Investigador del INIFAP-CIRCEN, Campo Experimental Valle de México.

²⁾Investigador del INIFAP-CIRGOC, Brigada Los Tuxtlas.

Palabras clave: Cultivo sustentable de laderas del trópico; Desarrollo de terrazas de muro vivo; Cambios texturales en pH, materia orgánica, y cationes extraíbles.

Index words: Sustainable hill farming; Changes in physical and chemical soil properties; Analysis of quality of sediments.

RESUMEN

Para estudiar los procesos del desarrollo de terrazas de muro vivo (TMV) en el trópico subhúmedo de México, se realiza un experimento permanente en una ladera erosionada de un Alfisol con 14.5% de pendiente y se da seguimiento a una parcela comercial en un Vertisol con 8.5% de pendiente. El desarrollo de las TMV

involucra un proceso de erosión local, en el que los sedimentos se retienen con un seto de *Gliricidia sepium* o de *Leucaena leucocephala* y un filtro de sedimentos construido a partir de residuos de los cultivos. El valor promedio del espesor máximo de sedimentos después de seis años fue de 27 cm en el Alfisol y de 13 cm en el Vertisol. Para evaluar los cambios en algunas propiedades del suelo, se recolectaron muestras compuestas de tres tratamientos, (1.00 m-TA, 0.75 m-TA, y 1.00 m-TM), seis terrazas y tres posiciones en la terraza: capa arable (CA) original, CA de la sección donante de sedimentos, y CA de la sección receptora. Se colectaron también 18 muestras compuestas independientes (tres tratamientos y seis repeticiones), para evaluar el error de muestreo. Se determinaron las siguientes propiedades: textura, pH, materia orgánica, N total, relación C:N, P Bray-P1, y K, Ca y Mg intercambiables con solución 1.0 N de acetato de amonio. Al comparar la capa

Recibido 8-94.

arable de los sedimentos con la CA original, se encontró que: a) se retuvo 96% de la arcilla en el Alfisol y 97.8% en el Vertisol; b) ocurrió un decremento en el contenido de MO en el Vertisol (de 2.96% en la CA original a 2.11% en la CA de los sedimentos); c) hubo una acidificación de casi media unidad de pH en el Alfisol y de un décimo de unidad en el Vertisol; d) hubo una reducción de 6, 10 y 12% de K, Ca y Mg intercambiables, respectivamente, en el Alfisol, y sorpresivamente de 39% del K y de 2 y 5% del Ca y el Mg intercambiables del Vertisol.

SUMMARY

A permanent field experiment was initiated in 1988 on an eroded Alfisol with 14.5 percent slope, to study the development of living wall terraces (LWT). A second site was a commercial plot on a Vertisol with 18.5 percent slope, that was treated since 1989 so as to develop LWT. Contour hedgerows of two legume species with 1 m or less vertical drop, an inexpensive sediment filtering device (SFD) and conventional tillage were the central factors for LWT development. Six years of LWT development changed the average terrace slope to 6.1 percent in the Alfisol and to 6.8 percent in the Vertisol. Sediments were collected in the SFD to an average depth of 27 cm in the Alfisol and to 13 cm in the Vertisol. It was hypothesized that the sediments would have a net loss of colloids and mineral nutrients. Fifty-four composite soil samples (0 to 20 cm), were collected from three sections of six terraces in three treatments in order to monitor changes of physical and chemical topsoil properties of the Alfisol. A set of independent composite samples was collected from the sediment receptor section of six

terraces and three treatments in order to evaluate sampling error. A similar process of soil sampling was conducted in the Vertisol.

Amounts of clay found in the sediments were 96 and 98.7 percent of the original topsoil contents (21.6% and 47.3% in the Alfisol and the Vertisol, respectively). The pH decreased by half a unit in the Alfisol and by one tenth of a unit in the Vertisol. Losses of 6, 10 and 12% of exchangeable K, Ca and Mg were detected in the Alfisol. Loss of K was 39% in the Vertisol, while Ca and Mg losses were 2 and 5%, respectively.

INTRODUCCION

En el primero de una serie de cinco artículos, los autores analizaron el desarrollo físico de terrazas de muro vivo (TMV) durante seis años, en dos localidades del trópico subhúmedo de México (Turrent *et al.*, 1995). En la localidad Vistahermosa, las TMV se desarrollan sobre una ladera erosionada de un Hapludalf Típico, con pendiente media original de 14.5%. En la segunda localidad, Río Tuxtla, las TMV se desarrollan sobre una ladera poco erosionada de un Pelludert Típico, con pendiente media original de 8.5%. El proceso de formación paulatina de las TMV se apoya en la interacción de cuatro elementos: 1) la presencia de setos de una especie arbórea en contorno, con caída vertical entre setos de 1 m o de menos; 2) la instalación anual de una estructura filtrante de sedimentos aguas arriba del seto, constituida por residuos de cosecha y del material de poda del seto; 3) la roturación convencional del suelo con arado reversible; y 4) los factores de la erosión: la pendiente y su desarrollo longitudinal, la lluvia, el mullido de la cama de siembra, y la erosionabilidad del suelo. Al cabo de seis años, la pendiente media

de las terrazas cambió de 14.5 a 6.1% en el Hapludalf, en tanto que en el Pelludert, esa pendiente evolucionó de 8.5 a 6.8%. Se captaron sedimentos de la parte superior de cada terraza (sección donante), en la parte inferior de la terraza (sección receptora), delimitada aguas abajo por el filtro de sedimentos y el seto. El espesor máximo de los sedimentos (EMS) captados en cada terraza dependió: a) de la magnitud de la pendiente original; b) de la intensidad del laboreo; y c) de la erosionabilidad del suelo.

Es necesario valorar la calidad de los sedimentos retenidos en las terrazas, al estar involucrado un proceso erosivo en su formación. Es posible que, en el proceso de transporte aguas abajo dentro de la terraza, los sedimentos perdieran irreversiblemente coloides orgánicos e inorgánicos, así como nutrimentos minerales, en las aguas de escurrimiento. Tal sería probablemente, el caso de los coloides transportados en forma de partículas primarias, así como de los nutrimentos disueltos en la misma agua de escurrimiento. En cambio, si los coloides y parte de los nutrimentos fueran transportados como constituyentes de los agregados del suelo, entonces podrían depositarse dentro de la terraza, gracias al efecto de reducción de la velocidad del agua de escurrimiento, que causan el filtro de sedimentos y el seto. Alberts *et al.* (1980) señalan que, en un suelo que contenía 26% de arcilla, 95% de la arcilla transportada aguas abajo en el proceso erosivo, iba como parte de agregados del suelo, y no en forma de partículas primarias. Lal (1989 a, b, c) señala que la pérdida de suelo de un Alfisol Oxico en Nigeria, con 7% de pendiente, trabajado convencionalmente fue de casi 5 t ha⁻¹ año⁻¹, cuando era cultivado con el patrón doble de maíz con sucesión de chicharo de vaca *Vigna unguiculata*. Al estudiar el

contenido de nutrimentos de las aguas de escurrimiento, encontró pérdidas de 11.5 kg de calcio, 1 kg de magnesio y 13 kg de potasio por hectárea por año; las pérdidas de fósforo, en forma de fosfatos, y de nitrógeno, como nitratos, fueron inferiores a 1 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Se reconoce ampliamente que cuando los sistemas agroforestales como el del "cultivo en callejones" (alley-cropping) se instala en laderas, conducen a la formación paulatina de terrazas de muro vivo (Celestino, 1984; Nair, 1994; Pacardo, 1984). Por otra parte, Grimshaw (1994) cita evidencias del desarrollo y funcionamiento eficiente de terrazas de muro vivo basadas en el zacate de transplante Vetiveria, sobre una amplia gama de condiciones agroecológicas. Sin embargo, se dispone de poca información en cuanto a la calidad agronómica de los sedimentos capturados dentro de tales sistemas agroforestales. Aportar información sobre la evolución de las propiedades físicas y químicas de las TMV, particularmente bajo patrones de cultivo intensos tradicionales de México, es uno de los objetivos del esfuerzo experimental que aquí se describe.

El uso de setos de leguminosas nativas de México para formar paulatinamente TMV, es un sistema agroforestal que deriva del sistema de "cultivo en callejones" (alley-cropping), que puede ser sustentable. Promete ser una razonable alternativa para la agricultura sedentaria de las laderas del trópico subhúmedo de México. Es necesario, sin embargo, ponderar sus ventajas y limitaciones.

MATERIALES Y METODOS

Se conduce desde 1988 un experimento permanente en una ladera de 14.5% de

pendiente de un Hapludalf Típico, para evaluar el desarrollo de terrazas de muro vivo (TMV) en una parte del trópico subhúmedo de México. Las hipótesis bajo cotejo involucran a los factores: 1) "caída" entre setos; 2) intensidad de la labranza primaria; y 3) especie leguminosa empleada en el seto (*Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*). Además, se da seguimiento a una parcela comercial acondicionada desde 1989, con uno de los tratamientos de TMV. El segundo sitio es una ladera con 8.5% de pendiente, de un Pelludert Típico. La comparación de la segunda localidad con la primera, permite obtener una medida, si bien confundida, de los efectos del tipo de suelo y de la pendiente, sobre la formación de la TMV. El experimento instalado en el Alfisol (sitio Vistahermosa) incluye seis tratamientos, sin repetición, en un diseño sistemático. Cada parcela experimental consta de seis terrazas, lo que permite realizar un proceso de muestreo. Los cuatro primeros tratamientos involucran dos caídas entre setos (1.0 y 0.75 m) y dos especies leguminosas (*G. sepium* y *L. leucocephala*), en un arreglo factorial 2^2 , en parcelas divididas, donde la caída entre setos ocupa la parcela grande y la especie ocupa la parcela chica. La labranza anual de estos tratamientos se realizó con tracción animal (TA), con implementos ligeros: arado reversible de vertedera y rastra de picos; la profundidad de roturación fue de 10 cm. El quinto tratamiento (1.0-TM-G.s.), tiene 1 m de caída, la especie *G. sepium* en el seto, y se roturó una vez al año, con arado reversible de discos y con rastra de discos, jalados ambos por tractor (TM); la profundidad de roturación fue 20 cm. En los cinco tratamientos se instaló, cada año, un "filtro de sedimentos", consistente en el acomodamiento, en forma de camellón, de los residuos de la poda del seto y de parte del rastrojo de maíz. El camellón se apoyó sobre el seto, antes de realizar el laboreo

y quedó parcialmente cubierto por el suelo vertido en el primer paso del arado. El sexto tratamiento es el testigo (sin terraza), que se roturó anualmente con rastra de discos jalada con tractor. Cada tratamiento ocupa el área delimitada por 20 m de ancho, y por la longitud en el sentido de la pendiente del terreno, con espacio para cinco a siete terrazas. Los setos se sembraron al inicio de las temporadas de lluvias de 1988 y se podaron dos veces por año, a partir de mediados del año siguiente. Las podas se realizaron cada vez que el maíz, cultivo principal en ambos ciclos de cultivo (primavera-verano y otoño-invierno), alcanzaba la etapa V₃ (Ritchie y Hanway, 1984). En el segundo sitio (Río Tuxtla), se instaló el tratamiento 1.0 m-TM-G.s a partir del inicio de las lluvias, en 1989. El manejo de este segundo sitio ha sido similar al descrito para el primero.

Desafortunadamente, no fue posible asegurar el manejo escrupuloso en cuanto al filtro de sedimentos y al plan de fertilización en el sitio Río Tuxtla, por tratarse de una parcela comercial. El filtro de sedimentos previamente descrito, solamente se instaló por el productor cooperante del sitio Río Tuxtla, en dos de los cinco años.

El plan de fertilización del cultivo doble de maíz consistió en los tratamientos 120-60-00 y 100-40-00 (N-P₂O₅-K₂O), para los ciclos primavera verano y otoño-invierno respectivamente, durante el período de 1988 a 1993, en el sitio Vistahermosa (Hapludalf Típico). Las fuentes de fertilizante fueron urea (U) y superfosfato de calcio triple (SFT). Se aplicó la tercera parte de la U y el total del SFT, en banda, durante la siembra. El resto de la U se aplicó en banda, antes de la segunda labor de cultivo. El manejo de los fertilizantes en el Vertisol fue el mismo que en el Alfisol en

el ciclo primavera verano, mas excluyó el uso de fósforo en el ciclo otoño-invierno.

Como se muestra en el primero de esta serie de cinco artículos, el proceso de seis años de desarrollo de las TMV rindió acumulaciones de sedimentos, cuyos espesores máximos promediaron 27 cm en el Alfisol y 13 cm en el Vertisol. A la vez, la pendiente de las terrazas se redujo al valor promedio de 6.1%, en el Alfisol, y de 6.8 %, en el Vertisol, a partir de pendientes originales 14.5% y de 8.5 %, respectivamente.

Para evaluar el cambio en algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en la evolución de las TMV, se tomaron muestras compuestas de la capa arable del suelo en los dos sitios, en 1994. Se obtuvieron 54 muestras compuestas en el Alfisol, a partir de tres tratamientos, seis terrazas y tres secciones de la terraza. Los tratamientos son: 1.00-TA-G.s.; 0.75-TA-G.s.; y 1.00-TM-G.s. Las tres secciones de cada terraza fueron: la donante de sedimentos, la receptora de sedimentos y la capa arable original. En la Figura 1 se muestran las dos primeras secciones de las terrazas. El suelo original está enterrado debajo de los sedimentos de la sección receptora. Es una suposición de este trabajo, que las características de la capa arable enterrada serían una base útil de comparación para valorar el cambio acumulado en seis años, en las secciones donante y receptora de la terraza. No se dispone de muestras de la capa arable original, tomadas al inicio del experimento.

Cada muestra compuesta se integró con diez submuestras que se extrajeron de los primeros 20 cm de suelo con una barrena tipo sacabocado de 2.54 cm de diámetro. Las diez submuestras se colectaron a intervalos de 1 m sobre una línea situada a 1 m aguas abajo del

pie del talud y paralela al seto, en el caso de la sección donante. Las diez submuestras de la sección receptora se obtuvieron de una línea paralela al seto y a 1 m de distancia, aguas arriba. Las diez submuestras de la capa arable original se extrajeron del pie del seto, entre las bases de los árboles, también a intervalos de 1 m (Figura 1).

Como se aprecia, el sistema de muestreo obedeció más al interés por medir las máximas diferencias entre las secciones de la terraza, que a la caracterización media de las secciones mismas. Así, la muestra de la sección donante proviene de la franja de máxima extracción de la terraza, y la muestra de la sección receptora proviene de la franja de máxima deposición de sedimentos.

Además de las 54 muestras compuestas, se obtuvieron otras 18 muestras, también compuestas, de la sección receptora de los tres tratamientos y las seis terrazas. El procedimiento de muestreo fue el mismo, excepto que las submuestras se desfazaron 0.5 m de las submuestras homólogas. Las comparaciones de las 18 muestras compuestas homólogas entre sí, permitirían evaluar la magnitud del error de muestreo de una propiedad de suelo dada, con 18 grados de libertad. Se supuso que tal error de muestreo sería independiente del tratamiento, de la sección de la terraza y de la terraza misma.

También se obtuvieron muestras compuestas del suelo del tratamiento testigo, con el mismo procedimiento que se empleó para los demás tratamientos. Las líneas sobre las que se obtuvieron las diez submuestras de cada muestra compuesta del testigo, se ubicaron como continuación de la sección receptora de cada una de las terrazas del

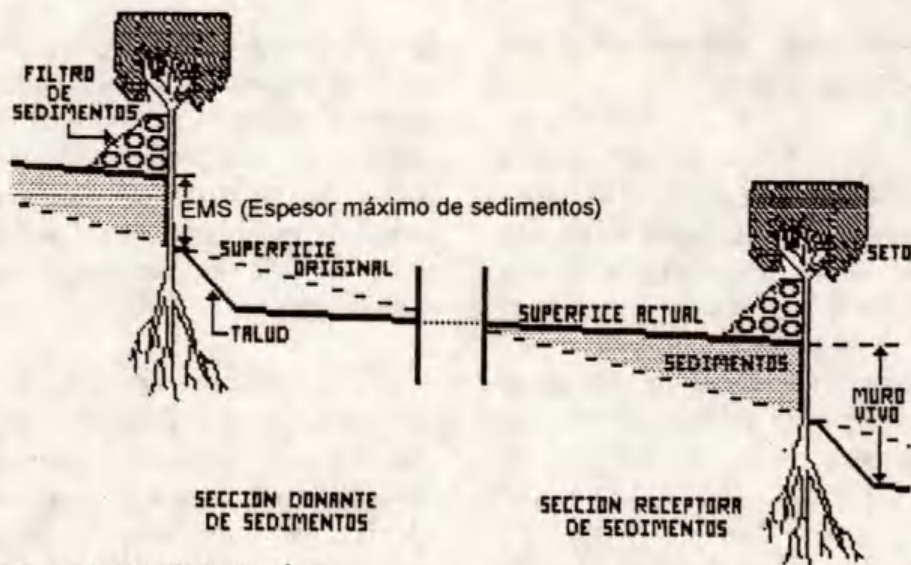


Figura 1. Detalle de la terraza de muro vivo.

tratamiento contiguo al testigo. Esto rindió seis muestras compuestas para el testigo.

El procedimiento de muestreo para el Vertisol (sitio Río Tuxtla) fue similar al seguido en el sitio Vistahermosa, excepto que: 1) se dividió el terreno en cuatro fracciones paralelas en el sentido de la pendiente dominante; 2) cada fracción de terreno incluyó 5 TMV; 3) la profundidad de muestreo fue de 15 cm, en atención al menor espesor alcanzado en los sedimentos, respecto al primer sitio. Se obtuvieron 60 muestras compuestas, correspondientes a cuatro fracciones del terreno, cinco TMV y tres secciones de cada TMV. Se extrajeron, además, 20 muestras compuestas, como remuestreo de la sección receptora de las cuatro fracciones del terreno y cinco TMV.

Las muestras se secaron al aire, se desmenuzaron con rodillo de madera, y se tamizaron a 2 mm. Se determinaron las siguientes características de las muestras: textura, por el método de Bouyoucos; materia orgánica, por el método de Walkley-Black; pH,

con electrodo de vidrio, en una suspensión suelo:agua con relación 1:2; nitrógeno total, por el método de Kjeldahl; fósforo asimilable, según Bray-P1; potasio, calcio y magnesio intercambiables, por el método de Pech *et al.* (1947).

El cuadrado medio del error de muestreo de cada una de las propiedades del suelo, se calculó a partir de los 18 pares de muestras homólogas en el Alfisol y 20 pares en el Vertisol. A la suma de cuadrados total (SCT) con 35 grados de libertad para el Alfisol, se restó la SC de homólogos, con 17 gl; la diferencia, con 18 gl, correspondió a la SC del error de muestreo.

Se realizaron los análisis de varianza para cada una de las propiedades analizadas; los factores de varianza en el Alfisol fueron: los tres tratamientos las seis terrazas, y las tres secciones de la terraza (donante, receptora y original). Los factores de varianza fueron cuatro fracciones, cinco terrazas y tres secciones de la terraza, en el Vertisol. El cuadrado medio del error de muestreo se usó

como base para el cálculo del estimador de F, de todas las fuentes de variación.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resúmenes de las propiedades físicas y químicas evaluadas, y de algunos de sus estimadores estadísticos, en la capa arable original (enterrada), respectivamente, para los suelos de ambos sitios, Vistahermosa y Río Tuxtla.

Solamente en el caso de P asimilable en el Alfisol (Vistahermosa), el coeficiente de variación (CV) fue demasiado alto (52.8%). En las propiedades restantes, el CV tuvo el valor de 12.3 % o de menos. Los valores de "F" sugieren que el nivel de precisión usado en la estimación de las propiedades, permitió detectar la variación de la mayoría de éstas, en el sentido de las terrazas (factor Te); en ambos sitios fue así. La capa arable original de la ladera de Vistahermosa (enterrada debajo de

los sedimentos), cuya erosión histórica preexperimental ha sido acentuada, mostró cierta tendencia a la acumulación de arcilla y limo, y a la disminución en arena, al avanzar desde las terrazas altas hacia las bajas. Esta tendencia se puede apreciar en la parte inferior del Cuadro 1. La misma tendencia hacia el incremento ocurrió con el pH, la materia orgánica, el nitrógeno total, y el calcio y magnesio intercambiables. Solamente la primera terraza, desarrollada sobre el interfluvio bajo de la ladera, se separó de esta tendencia, como lo indicaron Brubaker *et al.* (1993). Los nutrientes P y K no mostraron el tipo de variación apuntada. En el segundo sitio, su menor pendiente y también su menor grado de erosión histórica parecerían explicar la falta de tendencias claras entre la variación de las propiedades evaluadas y la pendiente dominante. La variación en el sentido de las columnas o fracciones del terreno, "Fr", es también detectable en ambos sitios, según los valores de F; lo cual revela la heterogeneidad nativa de la capa arable de las dos laderas.

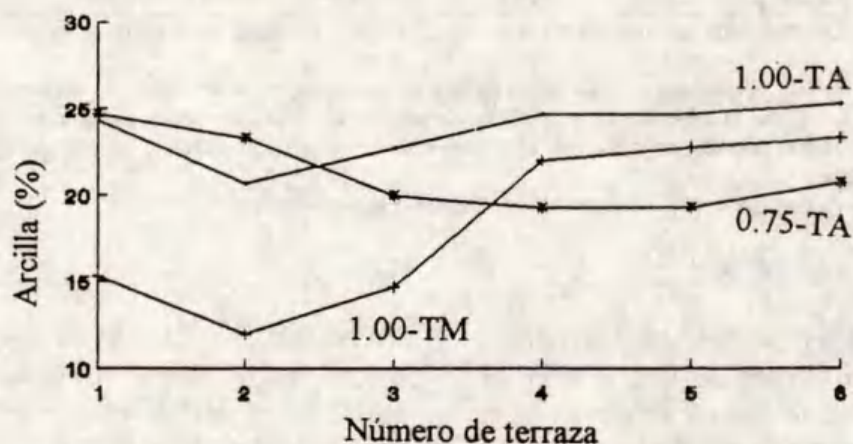


Figura 2. Arcilla en seis terrazas según dos tratamientos. 1.0 y 0.75 = caída entre setos de 1 y 0.75 m; TA = tracción animal; TM = tracción motorizada.

Cuadro 1. Estimadores de algunos parámetros estadísticos de diez propiedades de la capa arable "original" del suelo (enterrado) Alfisol. Sitio Vistahermosa.

Propiedad	Estimadores estadísticos ¹⁾					
	Media	CMEM	CV	Fr	Te	Fr x Te
Arcilla %	21.6	3.083333	8.1	8.67**	5.03**	4.52**
Limo %	11.1	2.638889	2.4	1.60ns	2.56ns	1.04ns
Arena %	67.3	7.611112	4.1	6.75**	2.85*	2.00ns
pH	6.23	0.006644	1.3	0.35ns	23.63**	1.81ns
Materia orgánica %	2.62	0.130083	4.4	2.01ns	4.51**	0.87ns
Nitrógeno total %	0.137	0.000200	10.4	1.93ns	4.59**	0.92ns
P asimil. ppm	5.78	9.315278	52.8	3.79*	4.74**	2.61ns
K intercamb. ppm	150	95.611111	6.5	19.83**	31.14**	6.92**
Ca intercamb. ppm	1570	34909.722	11.9	7.95**	4.01*	1.46ns
Mg intercamb. ppm	634	543.2222	3.7	81.82**	81.21**	21.53**
Medias de seis terrazas ³⁾						
	1	2	3	4	5	6
Arcilla %	21.0	19.3	19.3	22.7	22.0	25.3
Limo %	9.3	12.3	12.3	9.7	10.3	12.7
Arena %	69.7	68.3	68.3	67.7	67.7	62.0
pH	5.95	5.94	6.24	6.35	6.45	6.42
Materia orgánica %	2.13	2.40	2.34	2.77	2.69	3.38
Nitrógeno total %	0.117	0.128	0.125	0.144	0.139	0.166
Relación C:N	10.6	10.9	10.9	11.1	11.2	11.8
P asimilable ppm	9.6	11.7	3.5	3.0	3.4	3.6
K intercambiable ppm	197	175	118	138	119	155
Ca intercambiable ppm	1479	1267	1450	1625	1721	1875
Mg intercambiable ppm	566	483	547	680	733	798

¹⁾ "CMEM" significa cuadrado medio del error de muestreo; CV significa coeficiente de variación, expresado en %.

²⁾ "Fr" tiene 2 gl, es la fracción del terreno ocupada por un tratamiento. Te tiene 5 gl, corresponde a las seis terrazas en que se divide el terreno, en el sentido perpendicular a la pendiente dominante. Fr x Te es la interacción entre ambas fuentes de variación. (**), significativo estadísticamente a 1%; (*), significativo al 5%; (ns), no significativo.

³⁾ La terraza número 1 ocupa la posición más alta de la ladera experimental.

En el Cuadro 3 se muestran los valores de "F" para cinco fuentes de variación en el Alfisol: tratamientos, terrazas y secciones de la terraza: donante, receptor y original, más dos de sus interacciones. También constan los valores de "F" para tres fuentes de variación en el Vertisol: terrazas, secciones y su

interacción. El valor de 42.5 de "F" refleja el efecto del factor tratamientos sobre la variabilidad de la propiedad contenido de arcilla, en el Alfisol. Por otra parte, en el Cuadro 1 se aprecia, en el mismo Alfisol, que el estimador de "F" para el factor "Fr" (fracción del terreno) y la misma propiedad del

Cuadro 2. Estimadores de algunos parámetros estadísticos de diez propiedades de la capa arable "original" del suelo (enterrado) Vertisol. Sitio Río Tuxtla.

Propiedad	Estimadores estadísticos ¹⁾					
	Media	CMEM	CV	Fr	Te	Fr x Te
Arcilla %	47.3	6.525000	5.4	0.44ns	2.73*	1.46ns
Limo %	16.7	4.200000	12.3	1.00ns	0.94ns	1.15ns
Arena %	36.0	1.625000	3.5	6.24**	7.85**	1.98ns
pH	6.19	0.006275	1.3	8.54**	2.50ns	2.94*
Materia orgánica %	2.96	0.056110	8.0	36.96**	3.50*	6.74**
Nitrógeno total %	0.156	0.000056	4.8	17.92**	9.91**	8.21**
P asimilable ppm	52	18.474750	8.2	29.36**	37.10**	9.12**
K intercamb. ppm	456	1057.3250	7.1	1.07ns	16.38**	17.53**
Ca intercamb. ppm	7016	145197.5	5.4	0.43ns	1.15ns	0.53ns
Mg intercamb. ppm	2041	3580.150	2.9	27.46**	12.94**	5.41**
Medias de cinco terrazas ³⁾						
	1	2	3	4	5	
Arcilla %	50.7	46.7	46.7	45.0	47.5	
Limo %	16.0	18.0	16.5	17.3	15.5	
Arena %	33.3	35.3	36.8	37.7	37.0	
pH	6.18	6.11	6.28	6.21	6.20	
Materia Orgánica %	3.04	2.89	3.19	3.08	2.62	
Nitrógeno total %	0.167	0.162	0.158	0.154	0.136	
Relación C:N	10.6	10.3	11.7	11.6	11.2	
P asimilable ppm	43.4	64.1	59.4	60.6	33.6	
K intercambiable ppm	480	520	480	454	347	
Ca intercambiable ppm	7088	7060	6884	7290	6757	
Mg intercambiable ppm	2111	2178	2040	1965	1912	

¹⁾ "CMEM" significa cuadrado medio del error de muestreo; CV significa coeficiente de variación, expresado en %.

²⁾ "Fr" tiene 3 gl; es la fracción del terreno con el lado más largo en el sentido de la pendiente dominante. Te tiene 4 gl; corresponde a cinco terrazas. Fr x Te es la interacción entre ambas fuentes de variación. (**) significativo estadísticamente a 1%; (*) significativo al 5%; (ns) no significativo.

³⁾ La terraza número 1 ocupa la posición más alta de la ladera experimental.

suelo (contenido de arcilla), es igual a 8.67. La primera "F" es 4.9 veces mayor que la segunda. Como a cada fracción de la ladera o columna se asignó un tratamiento diferente para desarrollar las terrazas, es válido inferir que este factor tratamientos, introdujo una fuente adicional de variación, a la variación nativa de la capa arable original. Como se verá más

adelante, la variación introducida por los tratamientos deriva de diferentes intensidades de pérdida de coloides y de nutrientes, en los sedimentos capturados en la sección receptora.

En la parte inferior del Cuadro 3 se presentan las relaciones entre estimadores "F" a saber: "REF", como la recién apuntada, para el

factor Te y la interacción Tr X Te. Una relación alta asociada con el factor Te y con alguna propiedad de suelo implicaría que, en conjunto, los tratamientos habrían provocado efectos que rebasarían el ámbito de una terraza aislada, para acumularse aguas abajo de la ladera. Por su parte, la REF igual a 5.8, asociada con el factor Te, y la REF igual a 3.6, asociada con la interacción Tr X Te, ambos con relación al pH, sugieren un patrón de efectos sobre

esta propiedad, que se acumulan sobre las terrazas, y que ese patrón varía de un tratamiento a otro.

En la parte superior del Cuadro 3 aparecen las columnas de los estimadores de "F" calificados por su significancia estadística, para el factor S, en ambos suelos. Los valores de "F" estadísticamente significantes aportan evidencia que no refuta la hipótesis del efecto

Cuadro 3. Estimadores del parámetro F para varias fuentes de variación de 10 propiedades físicas y químicas de un Alfisol y un Vertisol.

Propiedad	Valores de F en dos suelos y fuentes de variación ¹⁾								
	Hapludalf Típico					Pelludert Típico			
	Tr	Te	Tr x Te	S	Te x S	Te	S	Te x S	
Arcilla %	42.5**	9.1**	10.9**	1.3ns	1.1ns	1.9ns	0.8ns	1.4ns	
Limo %	15.3**	1.4ns	1.0ns	5.1*	1.5ns	0.9ns	0.5ns	1.1ns	
Arena %	41.1**	5.2**	4.2**	2.1ns	1.2ns	16.8**	7.9**	1.1ns	
pH	7.4**	137.3**	6.5**	151.6**	3.7**	7.8**	9.9**	1.8ns	
Mat. Org. %	6.3**	10.1**	2.2ns	8.3**	0.4ns	14.1**	65.9**	3.8**	
Nitrógeno total %	6.4**	10.3**	2.1ns	8.1**	0.4ns	35.7**	156.6**	3.6**	
P ppm	1.4ns	29.8**	7.7**	164.3**	4.1**	78.6**	48.3**	12.6**	
K ppm	8.6**	17.2**	7.8**	34.6**	9.8**	14.7**	160.0**	5.1**	
Ca ppm	19.6**	8.8**	4.0**	3.4ns	0.5ns	3.5*	1.2ns	1.8ns	
Mg	318.2**	202.8**	40.3**	51.1**	3.0*	17.4*	16.7**	6.6**	

Relación entre F post-tratamiento, y F pretratamiento, según fuente y suelo:

Propiedad	Hapludalf Típico			Pelludert Típico
	Tr	Te	Tr x Te	Te
Arcilla	4.9	1.8	2.4	0.7
Limo	9.6	0.5	1.0	1.0
Arena	6.1	1.8	2.1	2.1
pH	21.1	5.8	3.6	3.3
Materia orgánica	3.1	2.2	1.2	4.0
Nitrógeno total	3.3	2.2	2.3	3.6
P asimilable	0.2	6.3	3.0	2.1
K intercambiable	0.4	0.6	1.1	0.9
Ca intercambiable	2.5	2.2	2.7	3.0
Mg intercambiable	3.9	2.5	1.9	1.3

¹⁾ "Tr" es efecto de tratamientos con 2 gl; "Te" es efecto de terraza con 5 gl en el Alfisol y 4 gl en el Vertisol; "Tr x Te" es la interacción con 10 gl; S es efecto de la sección en la terraza, con 2 gl; "Te x S" son las interacciones respectivas. (**) significa que la "F" es significativa a 1%, (*) a 5%, (ns) no significativa.

de la sección de la terraza sobre el valor de una propiedad del suelo.

Efecto "sección de la terraza"

Como se explicó previamente, la asignación de tratamientos experimentales para el desarrollo de TMV se hizo en franjas de 20 m de ancho por la longitud del terreno en el sentido de la pendiente. Por tal razón es que las terrazas de un tratamiento están ordenadas cuesta abajo, en formación. El paso del agua de escurrimiento tiene necesariamente un "efecto de cascada" sobre las terrazas. Así, sobre el filtro de sedimentos de la última terraza ha de pasar la suma de las aguas de escurrimiento generadas en las terrazas anteriores, más la generada localmente. En cambio, sobre el filtro de sedimentos de la primera terraza pasa tan solo el agua de escurrimiento local. Por lo tanto, lo que aquí llamamos "efecto sección de la terraza", puede representar un promedio de efectos entre las terrazas, que en realidad implican la acción acumulada a lo largo de la ladera. Sería de esperarse, por ejemplo, que los sedimentos de las últimas terrazas hubieran sufrido mayores pérdidas de coloides y de nutrimentos que las primeras, durante el proceso de formación de las terrazas. En tal caso, la interacción Te x S (terrazza por sección) revelaría tal efecto.

Cabe también señalar que la lógica del desarrollo de las terrazas sugeriría que: a) la capa arable original de 1988 (cuyas propiedades se estiman en este estudio a partir del estrato enterrado debajo de los sedimentos) es la fuente directa de los sedimentos colectados en la sección receptora; y b) la capa arable actual de la sección donante de sedimentos, estaba ubicada inmediatamente debajo de la capa arable original. Por lo tanto, la comparación entre las secciones original y

receptora reflejarían principalmente el efecto neto del proceso erosivo y del transporte y captación de sedimentos; en tanto que la comparación entre las secciones original y donante revelarían, más que nada, la relación entre un estrato subyacente y su estrato superior. A todo esto hay que sumar la acción de la roturación, que vierte el material de suelo siempre hacia abajo de la pendiente, y que lo homogeneiza.

Finalmente, cabe advertir el carácter continuo y decreciente en intensidad del proceso de desarrollo de las TMV, que alcanzó su máxima intensidad en el primer año, cuando la pendiente local de cada terraza era también máxima, como se señala en el primero de estos artículos (Turrent *et al.*, 1995). El efecto sobre la calidad de los sedimentos atrapados, acumulado durante seis años, está compuesto de efectos anuales, que fueron máximos en el primer año, y que se espera decrezcan continuamente en intensidad.

La evidencia estadística sobre el cambio textural de las tres secciones es débil para ambos suelos, como puede apreciarse en los Cuadros 3 y 4. Más bien se sugiere que de haber cambios, estos serían someros. Así, el contenido de arcilla de los sedimentos (sección receptora) equivale a 96% del contenido del estrato original en el Alfisol y a 98.7% en el Vertisol. Este cuadro sería consistente con el transporte de la arcilla preferentemente en forma de agregados y no de partículas aisladas, como lo observaron Alberts *et al.* (1980). La acción del filtro de sedimentos habría de afectar el transporte de las arenas, limos y agregados, con base en su tamaño. Adicionalmente, la falta de significancia de las interacciones Te x S para los separados texturales de ambos suelos (Cuadro 3) sugiere que el transporte de los sedimentos quedó

grandemente confinado al ámbito de cada terraza. No hay diferencia en cuanto a los contenidos de limo y de arena entre los sedimentos y la capa arable original de ambos suelos. La comparación de los separados texturales entre las secciones original y donante, muestra diferencias someras en ambos suelos.

En los mismos Cuadro 3 y 4 se aprecian evidencias de cambios en los contenidos de materia orgánica (MO), de nitrógeno total (N_t) y de la relación C:N entre las secciones original y receptora, que, a su vez, difieren entre los suelos. Mientras no hay diferencia para esas propiedades en el Alfisol, hay una clara disminución en el Vertisol, en cuanto a los contenidos de MO y de N_t en la capa arable de la sección receptora, respecto a la capa arable original. Además, se aprecia el "efecto cascada" (interacción Te x S altamente significativa, Cuadro 3) por ser las diferencias cada vez mayores, al avanzar desde la primera, hacia las terrazas cuesta abajo (Cuadro 4). La relación C:N también disminuyó, si bien, solo ligeramente. El diferente comportamiento en ambos suelos coincide con el diferente manejo de los residuos de cultivo asociado con el filtro de sedimentos, según se advierte previamente. Las pérdidas de MO y de N_t podrían ser un fenómeno común a ambos suelos, como lo señala Martínez (1983) para un suelo de Chiapas, que habría sido compensada con la frecuente adición de residuos de cultivo en el caso del Alfisol. También se advierte la disminución, común para ambos suelos, en los contenidos de MO y de N_t en la sección donante, respecto a la original. Esta diferencia puede entenderse en términos del decrecimiento de MO y de N_t , que se da típicamente con la profundidad de un suelo.

El pH de la capa arable de los sedimentos es claramente menor al de la sección original en ambos suelos (Cuadros 3 y 4). El proceso de acidificación es mayor en el Alfisol que en el Vertisol, como podría derivarse de la menor capacidad de amortiguamiento del primero. La interacción Te x S es significativa en el Alfisol y no lo es en el Vertisol. Sin embargo, las tendencias de las diferencias entre los pH de las secciones original y receptora, no son consistentes con el efecto de cascada (Cuadro 4). Por tanto, parecería que el proceso de acidificación fuera un evento confinado a cada terraza, en ambos suelos.

La pérdida de bases que acompaña al proceso de acidificación, habría de reflejarse en los contenidos de K, Ca y Mg intercambiables. En los casos de K y de Mg, los efectos de S (sección) y de Te x S (interacción terraza por sección) son altamente significativos en ambos suelos (Cuadro 3). Ocurre lo opuesto para el Ca intercambiable. Tal y como ocurre con el cambio en pH, la evidencia de ambos suelos no es consistente con un efecto de cascada en la disminución de K intercambiable (Cuadro 4).

Resalta el patrón de variación del P asimilable en la capa arable de las tres secciones de la terraza del Alfisol. Hay un bajo nivel de P asimilable en la sección original y un enriquecimiento en las secciones donante y receptora, respecto a la original, probablemente resultado del plan de fertilización (Lal, 1989a). Además, se aprecia un proceso de concentración de P extraíble en los sedimentos (sección receptora) de este suelo. Es probable que tal proceso de concentración resultara de: a) los procesos de fijación de fósforo en el suelo (Tisdale y Nelson, 1966); b) del transporte de los compuestos resultantes de la fijación, como

Cuadro 4. Variación de once propiedades físicas y químicas de dos suelos, con relación a tres secciones de las terrazas de muro vivo, después de seis años de desarrollo.

Propiedad ¹⁾	Terraza ⁴⁾	Valores en tres secciones de las terrazas ²⁾							
		Hapludalf Típico		Pelludert Típico		Original	Donante	Receptor	Dif
		Original	Donante	Receptor	Dif ³⁾	Original	Donante	Receptor	Dif
Arcilla %	Media	21.6	20.9	20.7	0.9	47.3	47.6	46.7	0.6
Limo %	Media	11.1	10.1	11.8	-0.7	16.6	17.1	16.5	0.1
Arena %	Media	67.3	69.0	67.5	-0.2	36.0	35.2	36.9	-0.9
pH	1	5.95	5.71	5.73	0.22	6.18	6.04	6.05	0.18
	2	5.93	5.65	5.32	0.61	6.11	6.03	6.00	0.11
	3	6.24	6.08	5.76	0.48	6.28	6.06	6.11	0.17
	4	6.35	6.34	6.01	0.34	6.21	6.25	6.14	0.07
	5	6.45	6.49	6.02	0.43	6.20	6.17	6.17	0.03
	6	6.42	6.40	6.18	0.24				
	Media	6.23	6.12	5.77	0.46	6.20	6.11	6.01	0.10
MO %	1	2.13	1.92	2.51	-0.38	3.04	3.11	2.54	0.50
	2	2.40	1.82	2.54	-0.14	2.89	2.58	2.02	0.87
	3	2.34	2.02	2.19	0.15	3.19	2.13	2.28	0.91
	4	2.77	2.41	2.75	0.02	3.08	2.46	1.91	1.17
	5	2.69	2.49	2.96	0.27	2.62	2.13	1.78	0.84
	6	3.38	2.79	3.25	0.13				
	Media	2.62	2.24	2.70	-0.08	2.96	2.48	2.11	0.87
MO %	Media	0.137	0.122	0.140	-0.003	0.156	0.127	0.114	0.042
Nt %	Media	11.1	10.7	11.2		11.0	11.3	10.7	
Rel. C:N	Media	11.1	10.7	11.2		11.0	11.3	10.7	
P ppm	1	9.6	12.4	27.9	-18.3	43.4	16.9	31.1	12.3
	2	11.7	15.4	38.0	-26.3	64.1	38.4	48.6	15.5
	3	3.5	10.6	27.3	-23.8	59.4	45.1	51.4	8.0
	4	3.0	6.6	15.8	-12.8	60.6	57.0	57.6	3.0
	5	3.4	5.6	17.1	-13.7	41.2	47.0	32.1	9.1
	6	3.6	6.6	13.7	-10.1				
	Media	5.8	9.5	23.3	-17.5	53.7	40.9	44.1	9.6
K ppm	1	197	134	148	49	481	321	340	141
	2	175	125	147	28	520	324	269	251
	3	118	134	149	-31	480	349	264	216
	4	138	109	133	5	454	357	289	165
	5	119	117	140	-21	347	300	228	119
	6	155	123	127	28				
	Media	150	123	141	9	456	330	278	178
Ca ppm	Media	1570	1482	1407	163	7016	6837	6871	145
Mg ppm	Media	634	581	558	76	2041	1963	1936	105

¹⁾Textura (Bouyoucos); pH en agua, rel 1:2; Materia orgánica (Walkley-Black); Nitrógeno total (Kjeldahl); P asim. (Bray-P 1); K, Ca, y Mg (Peech *et al.*).

²⁾Medias de 18 observaciones en el alfisol y de 20 en el vertisol.

³⁾Diferencias entre el valor de la sección original y el de la sección receptora.

⁴⁾Se presentan los valores correspondientes a seis o a cinco terrazas más la media, para algunas propiedades y para otras, se presentan solamente las medias.

Cuadro 5. Autocorrelaciones de diez propiedades de las capas arables del suelo de las secciones donante de sedimentos y la original, en un Alfisol y un Vertisol.

Propiedad	Coeficientes de correlación ¹⁾ y significancia estadística en dos suelos ²⁾	
	Alfisol	Vertisol
Arcilla	0.81702**	0.19904ns
Limo	0.30839ns	0.14248ns
Arena	0.74154**	0.51794*
pH	0.90040**	0.49970*
Materia orgánica	0.76042**	0.01687ns
Nitrógeno total	0.75685**	0.48226*
P asimilable	0.54305*	0.49797*
K intercambiable	0.10398ns	0.31644ns
Ca intercambiable	0.84876**	0.09521ns
Mg intercambiable	0.87183**	0.47069*

¹⁾El coeficiente de correlación mide el grado de asociación para una misma propiedad, entre la sección donante de sedimentos y la sección original.

²⁾(**) implica significancia a 1%; (*) a 5%; (ns) indica no significancia.

parte de agregados del suelo; y c) de la retención de sedimentos asociada con el filtro de sedimentos. El patrón de variación de P asimilable es radicalmente diferente en el Vertisol. Este es rico en P asimilable en la capa arable de su sección original. Hay una reducción de 25% del P asimilable en la sección donante; la capa arable de la sección receptora de sedimentos tiene un nivel intermedio de P asimilable.

En el Cuadro 5 se muestra una manera de cotejar la hipótesis de que la capa arable actual de la sección donante de sedimentos es un sustrato subyacente a la capa arable original. Si así fuera, los coeficientes de autocorrelación entre ambos estratos serían altos para las propiedades estudiadas. Tal ocurre con ocho de diez propiedades en el Alfisol. El coeficiente de correlación entre el contenido de arcilla de la capa arable (CA) de la sección donante y el de la CA original

(enterrada) es de 0.82. En cambio, en el Vertisol predominan autocorrelaciones muy bajas.

Efecto "tratamientos"

En el Cuadro 6 se muestran las relaciones entre las propiedades del Alfisol y los tratamientos para desarrollar las terrazas, mientras en el Cuadro 3 se aprecian los valores de "F" y sus significancias estadísticas. Hay evidencia de que los tratamientos afectaron la clase textural de las terrazas. Hay menos arcilla (18.3%) y limo (9.7%) en las terrazas desarrolladas bajo el tratamiento 1.0-TM (1.0 m de caída entre setos, con laboreo intenso), que en las desarrolladas bajo el tratamiento 1.0-TA (1.0 m de caída, con laboreo ligero): 23.7% de arcilla y 12.6% de limo. Estos resultados son consistentes con lo encontrado en materia de avance en el desarrollo de la terraza: el tratamiento 1.0-TM se asoció con

un espesor máximo de sedimentos (EMS) de 34.7 cm, cuando la pendiente original del suelo era de 14.5%, en tanto que para el tratamiento 1.0-TA, el EMS fue de 20.6 cm (Turrent *et al.*, 1995). En el Cuadro 3 se aprecia que la interacción Tr x Te para la propiedad "arcilla" es altamente significativa. Esto se refleja en la Figura 2: mientras el tratamiento 1.00-TA muestra contenidos casi constantes de arcilla en las terrazas excepto en la segunda, el tratamiento 1.00-TM muestra una clara pérdida de arcilla en las tres primeras terrazas. Aparentemente, el laboreo intenso se asoció con una mayor erosión y pérdida de arcilla y limo que el laboreo ligero, en el proceso de desarrollo de la terraza de muro vivo. Este proceso también se asociaría con la pérdida de MO y de N, como se desprende al comparar los tratamientos 1.00-TA y 1.00-TM (Cuadro 6). Aunque no hay cambio apreciable en el pH,

sí hay una sustancial reducción de 23% en el nivel de Ca intercambiable y de 29% en el de Mg, y un ligero incremento en el P asimilable y K intercambiable, para el tratamiento 1.0-TM. El tratamiento 0.75-TA se ubica como intermedio entre los tratamientos 1.0-TA y 1.0-TM en todas las propiedades analizadas, excepto en el pH, en el que mostró la máxima acidificación.

Para aprender sobre los factores de la variabilidad en las propiedades físicas y químicas de los sedimentos, se ajustaron ecuaciones de regresión en ambos suelos, entre el valor de cada propiedad en la sección receptora Y_iR y: 1) el valor de la misma propiedad en la sección original Y_iO con términos lineal y cuadrático; 2) los términos lineal y cuadrático de la pendiente media

Cuadro 6. Variación de once propiedades físicas y químicas, según el tratamiento para desarrollar terrazas de muro vivo, en un Alfisol y un Vertisol, durante seis años.

Propiedad ¹⁾	Medias por tratamiento ²⁾ en dos suelos				
	Alfisol				Vertisol
	1.0-TA	0.75-TA	1.0-TM	DMS ³⁾	1.0-TM
Arcilla %	23.7	21.2	18.3	1.5	47.2
Limo %	12.6	10.7	9.7	1.4	16.7
Arena %	63.7	68.1	72.0	2.3	36.0
pH	6.09	5.98	6.04	0.07	6.13
Materia orgánica %	2.76	2.42	2.37	0.3	2.52
Nitrógeno total %	0.142	0.129	0.127	0.012	0.132
Rel C:N	11.3	10.9	10.8		11.1
P asim. ppm	11.9	13.1	13.6	2.6	46.3
K intercamb. ppm	132	137	145	8.3	355
Ca intercamb. ppm	1641	1550	1268	159	6908
Mg intercamb. ppm	686	598	490	20	1980

¹⁾Textura (Bouyoucos); pH en agua, rel. 1:2; Materia orgánica (Walkley-Black); Nitrógeno total (Kjeldahl); P asim. (Bray-P1); K, Ca, y Mg intercambiables (acetato de amonio 1N).

²⁾1. 0-TA significa caída de 1 m entre setos y laboreo ligero, con tracción animal; 1.0-TM significa caída de 1 m, y laboreo intenso, con tractor. Medias de 18 observaciones en el Alfisol y de 20 en el Vertisol.

³⁾DMS es diferencia mínima significativa a 1%, dentro del Alfisol.

original del área en la que se desarrolló la terraza, SO y $(SO)_2$, y su interacción de primer orden con el valor de la propiedad en la sección original $SO*Y_iO$; 3) los términos lineal y cuadrático del espesor máximo de sedimentos, EMS , más su interacción con el valor de la propiedad en la sección original, $EMS*Y_iO$; y 4) dos variables mudas (VM) para tres tratamientos, y cinco VM para seis terrazas en el Alfisol, o cuatro VM para cinco terrazas en el Vertisol. Se siguió la técnica de Regresión Progresiva Modificada (Stepwise), con nivel de probabilidad de 15% como criterio de entrada y de permanencia (Draper y Smith, 1966).

Variabilidad en los sedimentos

En el Cuadro 7, se muestra un resumen del ejercicio mencionado. Se aprecia que la variable independiente Y_iO (TO como arcilla en la sección original, LO limo original, AO arena original, etc.) es la variable explicativa principal para cada variable dependiente Y_iR , en ambos suelos. Las variables mudas $t1$ y $t2$ para los tres tratamientos, y las VM : $m1$ a $m5$, para seis terrazas en el Alfisol y las VM $m1$ a $m4$ para cinco terrazas en el Vertisol, son también útiles para explicar la variación en las variables Y_iR . Finalmente, la pendiente original del área en la que se desarrolló la terraza, SO resulta útil para explicar variación en limo, calcio y magnesio en el Alfisol, y para todas las variables excepto calcio y magnesio en el Vertisol.

La utilidad de las variables Y_iO para explicar el valor de las variables Y_iR (propiedades físicas y químicas de la sección receptora), derivaría de la razón obvia de ser la materia prima sobre la que actúan los factores del desarrollo de la TMV. La pendiente

original del área en la que se desarrolló la terraza, figuraría como factor de Y_iR , por su papel central en el proceso de transporte de sedimentos desde la sección donante, hasta la sección receptora de la terraza. La razón de la utilidad de las variables mudas de tratamientos, para explicar parte de la variación de Y_iR , podría derivar principalmente del diferente grado de desmenuzamiento de la cama de siembra asociado con los tratamientos y de su acción sobre el transporte de los sedimentos. Finalmente, la utilidad explicativa de las variables mudas m_i para las terrazas, podría estar asociado al "efecto de cascada" del agua de escurrimiento.

CONCLUSIONES

1. La capa arable de los sedimentos retenidos en el proceso de formación de terrazas de muro vivo experimentó cambios en algunas de sus propiedades respecto a la capa arable original, si se usa como referencia a la capa arable original enterrada. Tales cambios dependieron de: a) la propiedad en sí; b) el tratamiento para desarrollar la terraza; c) la pendiente original de la terraza; d) la posición relativa de la terraza; y e) el suelo mismo.
2. El contenido promedio de arcilla en los sedimentos equivale a 96% de lo original en el Alfisol, y a 98.7% en el Vertisol, después de 6 años de desarrollo de las TMV. También en el Alfisol, el tratamiento de laboreo intenso (1.00-TM) se asoció con el contenido de 18.3% de arcilla, en contraste con los tratamientos de laboreo ligero (1.00-TA y 0.75-TA), que se asociaron con contenidos de arcilla de 23.7% y 21.2%, respectivamente.
3. Hubo un ligero aumento en el contenido de materia orgánica y de nitrógeno total en los

Cuadro 7. Variables asociadas a las propiedades físicas y químicas de los sedimentos retenidos en las terrazas de muro vivo (TMV) (capa arable de la sección receptora), en un Alfisol y un vertisol.

Propiedad sección receptora	Ambito de las propiedades	R ²	Variables asociadas ¹⁾
<i>1. Sitio Vistahermosa (Alfisol)</i>			
Arcilla %	12.0 a 26.0	85.7	+TO; +t1; +m1.
Limo %	8.0 a 14.0	74.8	+LO*SO; +t1 +m4.
Arena %	60.0 a 79.0	76.5	+AO; -t1; -m4.
pH	5.17 a 6.27	98.9	+RO; +t1; -t2; -m5.
Materia orgánica %	1.66 a 3.87	55.0	+MOO; -(MOO) ² ; -m3.
Nitrógeno total %	0.099 a 0.186	42.2	+N _t O; -(N _t O) ² ; -m3
P ppm	7.5 a 47.6	72.0	+PO; +t2; +m2.
K ppm	113 a 183	0	.
Ca ppm	688 a 2063	83.5	+CaO*t1; -CaO*t2; +SO; -m2.
Mg ppm	278 a 839	91.1	+MgO; +t1; -MgO*SO.
<i>2. Sitio Río Tuxtla (Vertisol)</i>			
Arcilla %	35.0 a 54.0	56.8	+TO; +SO; -(SO) ² ; TO*EMS.
Limo %	11.0 a 27.0	19.6	+(SO) ² .
Arena %	32.0 a 42.0	52.3	+AO; -SO; -AO*SO.
pH	5.83 a 6.27	51.0	+RO; -(SO) ² ; -m2.
Materia orgánica %	1.38 a 2.92	65.5	-SO; +(SO) ² ; +MOO*SO.
Nitrógeno total %	0.088 a 0.148	59.9	+N _t O; -(N _t O) ² ; -N _t O*SO.
P ppm	16.9 a 74.0	84.1	+PO; -(SO) ² ; +m4.
K ppm	198 a 395	79.7	+(KO) ² ; -(SO) ² ; +KO*SO; +m1.
Ca ppm	6363 a 8225	60.1	+(CaO) ² ; -m1; +m2.
Mg ppm	1763 a 2210	70.5	+MgO; +(EMS) ² ; +m2.

¹⁾La letra o implica que la variable corresponde a la sección original de la TMV. T indica contenido de arcilla; L limo; A arena; S se refiere a la pendiente original de la ladera en la que se desarrolló la terraza; R significa pH; MO es materia orgánica, N_t es nitrógeno total; P fósforo asimilable; K, Ca y Mg, son potasio, calcio, y magnesio intercambiables, EMS es el espesor máximo de sedimentos en la TMV; la expresión +MOO*SO indica que las variables MOO (contenido de materia orgánica en la capa arable de la sección original) y SO (pendiente original) afectan a la propiedad correspondiente en forma de interacción positiva. Las dos variables mudas t1 y t2 en el sitio Vistahermosa, representan los efectos de los tres tratamientos 1.00m-TA, 0.75m-TA y 1.00m-TM. Las 5 VM m1 a m5 en el Alfisol y 4 VM m1 a m4 en el Vertisol representan los efectos de las seis y cinco terrazas, respectivamente.

sedimentos capturados en el Alfisol, respecto al contenido de la capa arable original, y un claro decremento de ambos en el Vertisol: MO y N_t en la capa arable (CA) original de 2.96% y de 0.156% mientras que en la CA de los

sedimentos, los contenidos eran de 2.96% y de 0.114%. La pérdida de MO en el Vertisol, fue creciente con las terrazas cuesta abajo. La evidencia recogida sugiere que la pérdida de MO y N_t es más bien la regla, y que la intensa

adición local de residuos del cultivo al Alfisol, en forma de filtro de sedimentos, compensaron aquella pérdida. La mayor intensidad en el laboreo asociado con el tratamiento 1.00-TM, también provocó una mayor pérdida de MO y de N_t .

4. La capa arable de los sedimentos sufrió un proceso de acidificación, que fue de casi media unidad de pH en el Alfisol, y de 0.10 de unidad en el Vertisol. Este proceso se asoció con una reducción de 6, 10 y 12 % del K, Ca y Mg intercambiables, respectivamente, en el Alfisol, y sorpresivamente, de 39% del K intercambiable y 2 y 5% del Ca y Mg intercambiables en el Vertisol. Con el laboreo intenso del Alfisol se redujeron en casi 23% y en 29% los contenidos de Ca y de Mg intercambiables en los sedimentos retenidos, respecto a los tratamientos de laboreo ligero.

LITERATURA CITADA

- ALBERTS, E.E., W.C. MOLDENHAUER, and G.R. FOSTER. 1980. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:590-595.
- BRUEBAKER S.C., A.J. JONES, D.T. LEWIS, and K. FRANK. 1993. Soil properties associated with landscape position. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:235-239.
- CELESTINO, F.A. 1984. Farming systems approach to soil erosion control and management. pp. 64-70. *In: Soil erosion management*. E.T. Craswell, J.V. Remenyi, and L.G. Nallana (eds.). Proceedings of a workshop held at PCARRD. Los Baños, Philippines.
- DRAPER N.R. and H. SMITH. 1966. Applied regression analysis. John Wiley & Sons Inc. New York, USA.
- GRIMSHAW, R. G. 1994. The role of Vetiver grass in sustaining agricultural productivity. *Trans. 15th Int. Soil. Sci. Soc. Congress 7a: 87-97*. Acapulco, Mexico.
- LAL, R. 1989a. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol. II. Water runoff, soil erosion, and nutrient loss. *Agroforestry Systems* 8:97-111.
- LAL, R. 1989b. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol. III. Changes in soil chemical properties. *Agroforestry Systems* 8:113-132.
- LAL, R. 1989c. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol. IV. Effects on soil physical and mechanical properties. *Agroforestry Systems* 8: 197-215.
- MARTINEZ MENES, M. 1983. Perspectivas técnicas sobre la conservación y productividad de los suelos en México. *Terra* 1: 24-30.
- NAIR, P.K.R., M.R.RAO, and E.C.M. FERNANDES. 1994. Tree-crop interactions in sustainable agroforestry systems. *Trans. 15th Int. Soil. Sci. Soc. Congress 7a: 110-137*. Acapulco, Mexico.
- PACARDO, E.P. 1984. Soil erosion and ecological stability. pp. 82-85. *In: E.T. Craswell, J.V. Remenyi, and L. G. Nallana (eds.). Soil erosion management*. ed. Proceedings of a workshop held at PCRRAD, Los Baños, Philippines.
- PEECH, M., T. ALEXANDER L., and A. DEAL L. 1947 Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S. Dept. Agr. Circular 757. Washington D.C, USA.
- RITCHIE, S.W., and J.J. HANWAY. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Ames Iowa, USA.
- TISDALE, S.L., AND W.L. NELSON. 1966. Soil fertility and fertilizers. 2nd ed. MacMillan Publishing Co., Inc., New York, USA.
- TURRENT F., A., S. URIBE G., N. FRANCISCO N. y R. CAMACHO C. 1995. La terraza de muro vivo, para laderas del trópico subhúmedo de México. I. Análisis del desarrollo de la terraza durante seis años. *Terra* 13: 276-298.

LA TERRAZA DE MURO VIVO PARA LADERAS DEL TROPICO
SUBHUMEDO DE MEXICO
III. DESEMPEÑO AGRONOMICO DEL CULTIVO DOBLE DEL
MAIZ EN TEMPORAL

The Living Wall Terrace for Sustainable Hill Farming in the Subhumid Tropics of Mexico.
III. Agronomic Performance of Rainfed Maize in a Double Cropping System.

A. Turrent Fernández¹⁾, S. Uribe Gómez²⁾, N. Francisco Nicolás²⁾ y
R. Camacho Castro²⁾

¹⁾Investigador del INIFAP-CIRCEN, Campo Experimental Valle de México

²⁾Investigador del INIFAP-CIRGOC. Brigada Los Tuxtlas.

Palabras clave: Terraza de muro vivo;
Cultivo doble de maíz; Tracción animal;
Tracción mecanizada, Ladera erosionada.

Index words: Living wall terrace; Maize
double cropping; Animal traction;
Motorized traction; Eroded hillside.

RESUMEN

Se instaló un experimento permanente en el ciclo primavera-verano de 1988 (PV 88), en una ladera de 14.5% de pendiente, profunda y severamente erosionada, en el trópico subhúmedo de México, para valorar la utilidad y rentabilidad de desarrollar terrazas de muro vivo TMV, bajo variantes tecnológicas: caída entre setos, especie leguminosa, e intensidad de labranza. Las

terrazas se han manejado con el cultivo doble de maíz durante seis años. En este artículo se analiza el desempeño agronómico de cuatro tratamientos durante tres años, con dos ciclos por año, cinco hileras de maíz en cada terraza y seis terrazas. Uno de los tratamientos es el testigo, desprotegido contra la erosión (sin terrazas) y que tiene el mismo manejo agronómico que el de los tratamientos de TMV, para los demás factores. La lluvia total del período julio-septiembre varió desde 916 mm hasta 1433 mm. Se encontró que los tratamientos 0.75 m-TA (0.75 m de caída entre setos, con laboreo ligero), y 1.00 m-TA (1.0 m de caída entre setos) se asociaron con rendimientos superiores en 0.5 t/ha al rendimiento del testigo, en el ciclo otoño-invierno (OI), que se caracteriza por la deficiencia de humedad. En el ciclo PV no hubo diferencias en rendimientos entre los tres tratamientos. El tratamiento 1.00 m-TM (1.0 m de caída, laboreo intenso), no se asoció con rendimientos superiores al del

Recibido 8-94.

testigo en el ciclo OI, y fue superado por el testigo en el ciclo PV. Se encontraron diferencias en el comportamiento de las hileras de maíz, según su posición en la terraza, el tratamiento y el ciclo de cultivo. Solamente el tratamiento 1.0 m-TA fue rentable, dentro de un período de 6 años, suponiendo inflación de 10% anual, precio nominal de NS\$550/t de grano, más NS\$350/ha de "Procampo".

SUMMARY

A permanent field experiment was installed on a severely eroded hillside with 14.5% slope, in the spring-summer growing season of 1988. The project's objective was to learn about the value of developing "living wall terraces", LWT, based on legume tree hedges, for sustainable hillside farming in Mexico's subhumid tropic. Six treatments involving 0.75 m and 1.00 m vertical drop between hedges, *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* species, two tillage intensities and a check were tested. The agronomic management was kept constant. The maize yield series cover three years, two growing seasons per year, four treatments, five row positions within terraces, and six terraces. A combined analysis of variance showed significant effects of years, growing seasons, treatments and row positions, and their interactions. After accounting for the nonfarmed space that is occupied by the hedge, LWT treatments 0.75 m-LT, (light tillage) and 1.0 m-LT outyielded the check by 0.5 t ha⁻¹ in the winter growing season. Maize growing in this season underwent severe lack of water in two out of three years. Yields in the spring-summer season were not statistically different; moisture was plentiful. Total rainfall of July through September varied from 916 mm to 1433 mm. The higher the rainfall the higher the

yield of the check plot and the lower the yields of the terraced treatments. The cost/ benefit ratio of 1.0 m-LT, the best LWT treatment, was larger than one over a six-year period. However, since profits are not realized until the third year, it is recommended that a plan for subsidizing the use of this technology be implemented.

INTRODUCCION

Los esfuerzos por controlar la erosión hídrica mediante el desarrollo de terrazas en las tierras de labor de México han sido escasos, debido al alto costo de la obra, al incremento en los costos de operación del terreno tratado y, a veces, al concomitante efecto temporal depresivo sobre la productividad, de una parte del terreno. Los productores agrícolas han mostrado poco interés por asumir su parte de este costo. La Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos, SARH, interrumpió la mayor parte sus esfuerzos proconservación de los suelos, a partir de 1983, después de haber protegido con obra física casi 3.3 millones de hectáreas (Vázquez, 1987). Esta empresa se apoyó en un mínimo o nulo esfuerzo de investigación de campo; más bien, se adoptó la tecnología desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Se eludió tratar a la región tropical húmeda y subhúmeda del país, por el menor daño de erosión detectado (García, 1983) y también, posiblemente, por la falta de tecnologías específicas.

Los autores han realizado investigación para el desarrollo de prototipos de explotación sustentable de la tierra en un grupo de ejidos del municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, desde 1981. Esta región tiene clima tropical subhúmedo. En una serie de cinco artículos, se

está divulgando la experiencia en el desarrollo y aprovechamiento de terrazas de muro vivo, éstos son: I. Análisis del desarrollo de la terraza durante 6 años (Turrent *et al.*, 1995a); II. Cambio en algunas propiedades físicas y químicas del suelo (Turrent *et al.*, 1995b); III. Desempeño agronómico del cultivo doble del maíz bajo temporal; IV. Estrategia para la transferencia de la tecnología de la TMV (Terra, en prensa) y V. Análisis de la experiencia de transferir la tecnología de la TMV a productores tradicionales de Veracruz (Terra, en prensa).

Las abundantes lluvias de verano de gran parte del estado de Veracruz, permiten el cultivo múltiple, en condiciones de temporal. Sin embargo, solamente las tierras planas y profundas, y una parte de las tierras de ladera, son efectivamente sembradas dos veces al año, en los ciclos otoño-invierno (OI) y primavera-verano (PV). Las tierras de ladera involucran un mayor riesgo para el cultivo del maíz en el ciclo OI que las planas, debido a que la precipitación es marcadamente inferior en ese ciclo ya que las tierras en ladera tienen menor capacidad para captar y retener la humedad remanente del ciclo primavera-verano. En este estudio se coteja la hipótesis de que el acondicionamiento de laderas con terrazas de muro vivo, podría incrementar la productividad de la tierra en dos vertientes: la de mejorar el rendimiento en ambos ciclos y la de hacer rentable el segundo cultivo, abriendo la posibilidad de intensificar el uso de las laderas. La suposición central es que la adopción de tecnologías para conservar el suelo tiene como prerequisite el mantenimiento, por lo menos, de la productividad actual del suelo, si es que el costo de la obra de conservación ha de verse como un subsidio. En cambio, si tal costo ha de ser asumido por el productor, el prerequisite es más demandante, ya que habría

de incrementarse rentablemente la productividad de la tierra, con la obra. El componente de mejoría en la productividad del suelo, habrá de ser adicional al efecto de sustentabilidad de la tierra misma, bajo ambos escenarios, para así maximizar la probabilidad de adopción de la tecnología desarrollada. Por lo tanto, el objetivo del proyecto fue desarrollar tecnología de conservación del suelo y del agua, que fuera rentable a plazo corto o mediano.

Varios autores han señalado que el uso de leguminosas arbóreas para proporcionar nitrógeno al cultivo principal, a manera de setos, funciona razonablemente en el desarrollo paulatino de terrazas, cuando el cultivo se realiza en laderas (Kang *et al.*, 1985; Pacardo, 1984). En la India, se estimula el uso de la gramínea de transplante *Vetiveria zizanioides* para el mismo fin de desarrollo paulatino de terrazas de muro vivo (World Bank, 1987). Empero, estos estudios no profundizan en el entendimiento de los procesos asociados con el desarrollo de las terrazas, ni en el desempeño técnico de los cultivos involucrados. Se decidió explorar la utilidad de las especies *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, ambas leguminosas nativas de México que se reproducen fácilmente por semilla.

El proceso de desarrollo de la terraza de muro vivo (TMV) resulta de la interacción de los siguientes elementos: 1) un seto en contorno con 1 m o menos de caída vertical; 2) un camellón de rastrojo de maíz que se apoya sobre el seto y que actúa como filtro de sedimentos; 3) el laboreo convencional; y 4) la erosión asociada al inicio de las lluvias, cuando el suelo está desnudo, y a la pendiente. En los dos primeros de esta serie de cinco artículos, se examina lo avanzado en la formación de terrazas de muro vivo durante seis años y los

cambios experimentados en algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en un Alfisol y en un Vertisol. En este tercer artículo, se examinarán aspectos agronómicos y económicos del cultivo doble del maíz, en los primeros años del desarrollo de las terrazas de muro vivo.

MATERIALES Y METODOS

Se instaló un experimento permanente sobre una ladera severamente erosionada de un Alfisol (Hapludalf Típico, franco mezclado, hipertérmico), en el ciclo PV 88. La forma del terreno es cóncava, con pendiente que fluctúa entre 8% y 31% y valor medio de 14.5%. En el Cuadro 1 se presenta el resumen de algunas propiedades químicas y físicas del suelo en un lugar adyacente al sitio experimental. Se trata de un perfil con textura ligera, altamente compactado, con: a) bajo contenido de materia orgánica; b) pH moderadamente ácido; c) baja capacidad de intercambio de cationes, y d) alta saturación de bases. Se estimó que los primeros 40 cm del perfil ya habían sido truncados por el proceso erosivo, en el sitio experimental. La tierra donde se instaló el experimento se ha explotado por un período mayor a 40 años, bajo una rotación de 4 años de cultivo y 4 años de descanso, con desarrollo de acahual. Durante el período de cultivo, se ha roturado el suelo con equipos ligeros (tracción animal) o con equipo pesado (tractor), antes del inicio de las lluvias. Se hace un primer cultivo de maíz en PV, junio-octubre, y un segundo, mientras la productividad de la tierra lo permite, en noviembre-marzo, ciclo OI. Típicamente, el cultivo de maíz se fertiliza con nitrógeno, en ambos ciclos; la dosis mayor se aplica en el ciclo PV. El inicio del experimento coincidió con el fin del período de cuatro años de cultivo. El sitio experimental se ubica en el

ejido Vistahermosa, municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz. Su clima es AW₂(W)(e)g (Uribe, 1985). La temperatura media anual es de 25 °C, y la precipitación es cercana a 1750 mm anuales.

Además de las hipótesis previamente enunciadas, se coteja la hipótesis sobre la interacción, en ambos ciclos OI y PV, entre el seto y ambas hileras de maíz, que lo flanquean. Los setos fueron en la etapa V3 del maíz (Ritche y Hanway, 1984), en ambos ciclos. La poda se hizo a 30 cm de altura del seto, por lo que nos referiremos a ésta, como poda como radical. Con la poda radical del seto se beneficiaría al maíz en su competencia por luz con el seto, ya que aquel lo dominaría durante los primeros años, cuando los muros no son muy altos. En cambio, durante el ciclo OI, bajo escasez de agua, ambas hileras de maíz que flanquean al seto, habrían de sufrir deficiencias más marcadas de humedad, que el resto de las hileras, lo que se reflejaría en menores rendimientos. Paulatinamente, al desarrollarse el muro vivo (que no el seto), la competencia por luz colocaría en mayor desventaja a la primera hilera de maíz, aguas abajo del seto.

En el primero de esta serie de artículos se presentan los detalles de la estrategia experimental (Turrent *et al.*, 1995a), que no se repetirán en este artículo. El experimento incluyó seis tratamientos sin repetición, en un diseño sistemático. La parcela experimental constó de seis terrazas, lo que permitió realizar un proceso de muestreo. Los cuatro primeros tratamientos incluyeron dos caídas entre setos (0.75 m y 1.00 m) y dos especies leguminosas (*G. sepium* y *L. leucocephala*), en arreglo factorial 2² en parcelas divididas, donde la caída entre setos ocupó la parcela grande y la especie leguminosa la parcela chica. La labranza de estos tratamientos se realizó con

Cuadro 1. Algunas características físicas y químicas del suelo del sitio experimental. Ejido Vistahermosa, Tilapan, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Características ¹⁾	Unidades	Profundidad					
		0-18	18-33	33-45	45-65	65-88	88-108
		-----cm-----					
Raíces ²⁾		abu	abu	free	esc	esc	sin
Grupo textural ³⁾		MAA	MAA	MAA	MA	MA	MA
Color en húmedo		5YR3/4	5YR3/2	5YR3/2	5YR3/3	5YR4/2	7.5YR4/4
pH (agua 1:2)		5.34	5.86	6.05	6.05	6.07	6.04
Materia orgánica	%	2.22	1.42	0.90	0.90	0.17	0.17
%	ppm	3.4	5.8	2.9	2.9	4.9	3.1
Fósforo Bray-P1	cmol x kg ⁻¹	15.6	11.7	10.2	10.2	7.1	7.4
CIC	cmol x kg ⁻¹	9.1	7.3	5.8	5.8	4.5	4.4
Ca ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	6.0	3.9	3.1	3.1	2.2	2.7
Mg ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
K ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
Na ⁺ intercamb.	%	99.0	99.1	99.0	98.8	98.6	98.7
PSB							
		108-130	130-140	140-170	170-190		
Raíces		sin	sin	sin	sin		
Grupo Textural		MA	MA	MA	AM		
Color en húmedo		7.5YR4/R	7.5YR4/4	7.5YR4/4	7.5YR4/4		
pH		6.09	6.16	6.18	6.19		
Materia orgánica	%	0.17	0.17	0.10	0.10		
%	ppm	6.5	4.9	9.2	5.6		
Fósforo Bray-P1	cmol x kg ⁻¹	7.4	6.4	6.9	3.5		
CIC	cmol x kg ⁻¹	4.2	3.4	3.5	1.7		
Ca ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	2.8	2.7	3.0	1.6		
Mg ²⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.2	0.2	0.1	0.1		
K ⁺ intercamb.	cmol x kg ⁻¹	0.1	0.1	0.1	0.1		
Na ⁺ intercamb.	%	98.6	100.0	97.1	100.0		
PSB							

¹⁾Métodos: textura bouyoucos; materia orgánica Walkley-Black; CIC con acetato de amonio 1.0 N; PSB es porcentaje de saturación de bases.

²⁾abu es abundante, fre es frecuente, esc es escasa, y sin es sin raíces.

³⁾En el grupo textural MAA es migajón arcillo-arenoso, MA es migajón arenoso, y AM es arena migajosa.

tracción animal, con la línea conocida como multibarra (Mendoza *et al.*, 1974), equipada con arado reversible de vertedera y con rastra ligera de picos; la profundidad de roturación fue de 10 cm. El quinto tratamiento implicó la roturación del suelo con tractor equipado con arado reversible de discos, y con rastra también de discos; la profundidad de roturación fue de

20 cm; la caída entre setos fue de 1 m, y la especie fue *G. sepium*. El sexto tratamiento fue el testigo, (sin terraza), el cual se roturó con tractor equipado con rastra de discos. Cada tratamiento ocupó un área de 20 m de ancho, por la longitud del terreno aguas abajo, con espacio para seis terrazas. El cultivo de maíz se espació a 0.8 m entre hileras, lo que

Cuadro 2. Manejo tecnológico constante entre tratamientos en el experimento sobre el desarrollo de terrazas de muro vivo. Ejido Vistahermosa, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Ciclo de cultivo	Factores manejados constantes dentro de cada ciclo:				
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg ha ⁻¹	Fuentes N P	Densidad de población ¹⁾ plantas ha ⁻¹	Fecha de siembra	Variedad ³⁾
PV 1988-1988	120-60-0	U, ST ²⁾	39 400	29 de junio	CP-561
PV 1989-1989	120-60-0	U, ST	39 420	3 de julio	V-530
OI 1989-1990	100-40-0	U, ST	35 290	21 de nov.	CP-561
PV 1990-1990	120-60-0	U, ST	39 820	11 de junio	CP-561
OI 1990-1991	100-40-0	U, ST	28 215	8 de nov.	CP-561
PV 1991-1991	120-60-0	U, ST	37 550	16 de junio	V-530
OI 1991-1992	100-40-0	NA, ST	38 790	20 de nov.	V-530
PV 1992-1992	138-69-0	U, ST	38 610	11 de junio	V-530
OI 1992-1993	100-40-0	U, ST	42 440	11 de nov.	V-530
PV 1993-1993	138-69-0	U, ST	45 600	13 de junio	H-512

¹⁾Densidad de población a la cosecha.

²⁾U es urea, Na es nitrato de amonio, ST es superfosfato de calcio triple.

³⁾CP significa Colegio de Postgraduados; V y H representan, respectivamente, variedad e híbrido, de acuerdo con la nomenclatura del INIFAP.

PV = primavera-verano; OI = otoño-invierno.

dio lugar para ocho de éstas en las caídas de 1 m, y para seis hileras para los tratamientos con caída de 0.75 m. En el Cuadro 2 se presentan algunas características del manejo común a los tratamientos experimentales. Las plantas de maíz se doblaron según la práctica tradicional, al alcanzarse la madurez fisiológica, en el ciclo PV, y no así en el ciclo OI. Una parte del rastrojo se aprovechó para instalar la estructura filtrante de sedimentos, según se explica en el primer artículo de esta serie (Turrent *et al.*, 1995a); el resto del rastrojo se retiró del área experimental.

En la cosecha de grano de maíz, se ha omitido al factor "especie leguminosa" en el seto, por lo que sólo se comparan cuatro tratamientos: 1) 0.75 m-TA, lo que es 0.75 m de caída entre setos con tracción animal e implementos ligeros; 2) 1.00 m-TA; 3) 1.00 m-TM, lo que es 1.0 m de caída entre setos con

tracción motorizada e implementos pesados; y 4) testigo. En las terrazas, la cosecha del grano de maíz se realizó al nivel de cada hilera, la primera fue la contigua al seto, aguas arriba, y la última la contigua, aguas abajo, al siguiente seto. Sólo se registraron cinco hileras de maíz en cada terraza, la tercera de aquéllas representó, a las dos hileras centrales en las terrazas de seis hileras, y a las cuatro hileras centrales, en las terrazas de ocho hileras de maíz. Se cosecharon 5 m lineales en cada hilera. El rendimiento se expresó como grano comercial, con 14% de humedad. Para estimar los rendimientos de las hileras flanqueantes del seto, se hizo la corrección por el espacio entre aquéllas, ignorando al seto. El tratamiento testigo también se cosechó al nivel de hilera. También se recabó la densidad de población a la cosecha, al nivel de la hilera, de todos los tratamientos. Se dispone de información experimental de tres años: 1991, 1992 y 1993,

con dos ciclos de cultivo por año: OI y PV, y seis terrazas, para los tres primeros tratamientos, y también para el tratamiento testigo, en los es-pacios equivalentes a las terrazas. También se dispone de información sobre el rendimiento asociado a dos tratamientos 1.0 m-TA y 1.0 m-TM en ambos ciclos del año agrícola de 1990, al nivel de hilera, y del tratamiento 0.75 m-TA en el ciclo OI del mismo año. La estimación del rendimiento del testigo de ambos ciclos de cultivo de 1990 se hizo al nivel de parcela.

Los datos de rendimiento al nivel de hilera se ajustaron por técnica de regresión a 35 mil plantas por hectárea, cuando las densidades observadas a la cosecha fueron inferiores a esa densidad. Esta corrección se realizó a partir de la regresión ajustada para las 30 observaciones de cada tratamiento, ciclo y año (cinco hileras de seis terrazas). Cada regresión incluyó a la variable dependiente rendimiento y a las variables independientes densidad de población a la cosecha, cuatro variables mudas para cinco hileras y cinco variables mudas para seis terrazas, más sus interacciones. Se usó la técnica de Regresión Progresiva Modificada o Stepwise (Draper y Smith, 1966), con criterio de 15% para la entrada y la permanencia de las variables. El rendimiento observado en la hilera por corregir, se usó como ordenada al origen, y se aplicó la corrección por densidad de población según las variables independientes involucradas. Como protección contra posibles sesgos asociados con la corrección por densidades de población, se realizaron todos los cotejos posteriores de hipótesis, con ambas fuentes de información de los rendimientos: con y sin corrección.

El cotejo de las hipótesis se hizo a dos niveles: uno, involucró a cuatro tratamientos, expresando los rendimientos al nivel de terraza, o del área equivalente, en el caso del testigo. En este nivel de comparaciones, se obtuvo el rendimiento promedio de las hileras en cada terraza, dando el peso correspondiente a la hilera central para representar dos o cuatro hileras centrales, según que la terraza fuera de seis o de ocho hileras. En cambio, el peso fue el mismo para todas las hileras del tratamiento testigo, por razones obvias. El segundo nivel de análisis fue para las comparaciones entre sí, de los tratamientos con terrazas de muro vivo, que se hizo desde el nivel de la hilera. El rendimiento medio por tratamiento o por terraza, difirió según el peso que se dió a las hileras, en ambos niveles de análisis.

Como se explica en el primer artículo de esta serie, no se dispone de repeticiones reales en el experimento, sino de "muestreo" dentro de cada tratamiento, donde la terraza fue la instancia de muestreo. Esto es así por el requerimiento de que cada tratamiento cubriera el desarrollo total de la pendiente del sitio experimental y por las siempre presentes limitaciones presupuestales. Para realizar el cotejo de hipótesis, se usó como aproximación el siguiente procedimiento: se manejaron las terrazas como si fueran repeticiones reales, guardando dos precauciones: a) usar un criterio muy estricto en las pruebas de significancia estadística, y b) cotejar si el componente de la variación entre terrazas (es decir, a lo largo de la pendiente principal del terreno, para la que las terrazas proporcionan ortogonalidad entre tratamientos) predominaba o no, sobre el componente de la variación del terreno dentro de las terrazas. Se usó 1% como criterio de significancia estadística.

RESULTADOS Y DISCUSION

Del total de 870 lecturas de rendimiento y densidad de población, al nivel de hilera, hubo 275 en las que se realizó la corrección del rendimiento, por tener densidades de población inferiores a 35 mil plantas por hectárea. Se ajustaron 23 regresiones entre el rendimiento y las variables densidad de población y su interacción con cuatro variables mudas para cinco hileras, y cinco variables mudas para seis terrazas. Sólo en tres casos de 23, el valor del coeficiente de determinación múltiple fue inferior a 70%, en el resto fue mayor, con valor extremo de 93.6%. También en tres casos, el número de variables independientes fue de 2 o de 1, en el resto, hasta de 8.

En el Cuadro 3 se presenta el análisis combinado de varianza de los rendimientos de grano de maíz al nivel de terraza, correspondiente a tres años, dos ciclos de cultivo, cuatro tratamientos y seis terrazas (o repeticiones). Este análisis corresponde a la serie de datos con corrección por densidad de población. Como error "a" se usaron los grados de libertad (gl) de terrazas, y de las interacciones entre terrazas y años y ciclos, que sumaron 30 gl. Como error "b" se usaron las interacciones entre los factores terrazas, años, ciclos y tratamientos, que sumaron 90 gl. Al comparar el cuadrado medio asociado al factor terrazas (5 gl) con el cuadrado medio de las interacciones entre terrazas, años y ciclos, (25 gl), resulta un valor de F significativo a 1%. Esta F sugiere que en efecto, el componente de la variación entre terrazas, para el que los tratamientos quedan ortogonalizados, es ampliamente superior a los componentes restantes de variación. En la base del mismo Cuadro 3, se muestran los rendimientos medios asociados con las seis terrazas, la primera fue la ubicada en la parte más alta del terreno

experimental. El gradiente de los rendimientos entre las terrazas es claro y es estadísticamente significativo. Al confundir los 5 gl del factor terrazas (o repeticiones) con los 25 gl restantes, se integra un error "a" mayor, lo que hace más estrictas las pruebas de hipótesis. Los efectos factoriales significativos a 1% son: años, ciclos, su interacción, y la interacción entre ciclos y tratamientos.

La corrección de los rendimientos por densidad de población inferior a 35 mil plantas por hectárea, redujo: 1) casi 10% de la variación total (respecto a la serie no corregida); 2) 25% del cuadrado medio del error "a"; 3) casi 8% del cuadrado medio del error "b". Empero, no hubo cambios sustanciales en cuanto a las pruebas de hipótesis.

En el Cuadro 4 se presentan las comparaciones pertinentes derivadas del análisis de varianza recién discutido. Los rendimientos difieren amplia y significativamente, como era de esperarse, entre los ciclos de cultivo; también difieren significativamente entre años, 1992 fue el mejor año agrícola y 1991 el peor. La interacción ciclos por años sugiere que la calidad del ciclo OI fue clave de la calidad agronómica del año agrícola: el ciclo OI de 1992 fue el de mayor calidad y el OI de 1991 el de menor calidad. El examen de la interacción "ciclos X tratamientos" muestra que en el ciclo OI, el tratamiento testigo fue significativamente inferior en 0.50 t/ha al rendimiento asociado con los tratamientos 0.75 m-TA y 1.00 m-TA, y es inferior en 0.20 t/ha (no fue significativa la diferencia) al rendimiento asociado con el tratamiento 1.00 m-TM. En cambio, en el ciclo PV se aprecia que el rendimiento asociado con el tratamiento testigo no fue significativamente

Cuadro 3. Análisis combinado de varianza del rendimiento de grano de maíz con 14% de humedad, según tres años (1991, 1992 y 1993), dos ciclos de cultivo, (otoño-invierno y primavera-verano), cuatro tratamientos y seis terrazas. Ejido Vistahermosa, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Factor	G.L.	Cuadrado medio	Fc	Ft 1%			
Años, A	2	9.144419	18.8226**	5.3904			
Ciclos, C	1	96.612517	198.8640**	7.5625			
Años*ciclos, A*C	2	6.960901	14.3281**	5.3904			
Error "a"	30	0.485823	2.8402NS	4.1259			
Tratamientos, T	3	0.660947	0.8755NS	3.1187			
A*T	6	0.203732	6.0877**	4.1259			
C*T	3	1.415545	1.9522NS	3.1187			
A*C*T	6	0.454301					
Error "b"	90	0.232715					
Total	143						
Terrazas	5	1.562925	5.7800**	3.8550			
Error "a"	25	0.270402					
Rendimientos medios de seis terrazas:							
		1	2	3	4	5	6
		2.35	2.40	2.71	2.86	2.81	2.98

diferente de los tratamientos 0.75 m-TA o 1.00 m-TA, pero sí es significativamente superior al rendimiento asociado con el tratamiento 1.0 m-TM. Los rendimientos asociados con los tres tratamientos de TMV (0.75 m-TA, 1.00 m-TA y 1.00 m-TM) no difirieron significativamente entre sí al nivel de ciclo, pero sí al nivel de año. El rendimiento asociado con el tratamiento 1.0 m-TA fue superior (2.86 t/ha) que el asociado con el tratamiento 1.0 m-TM (2.53 t/ha). Ambos tratamientos de laboreo ligero: 0.75 m-TA y 1.00 m-TA, se comportaron de manera similar en los niveles de ciclo y de año agrícola.

Para entender el comportamiento de la variable rendimiento observado, en cuanto a su asociación con los tratamientos en estudio, es necesario considerar los siguientes hechos: 1) el área manejada con el tratamiento testigo ha

estado sujeta a severo proceso de erosión en el período 1988-1993, como lo sugieren los datos de cambio de pendiente y de desarrollo del muro vivo que corresponden al tratamiento 1.00 m-TA, el cual ha sido roturado menos intensamente que el Testigo; estos datos se presentan en la parte inferior del Cuadro 5; 2) las pendientes fuertes se asocian con erosión y con altos coeficientes de escurrimiento del agua de lluvia; sin embargo, dentro de ciertos límites de intensidad de la erosión: a) el efecto depresivo sobre el rendimiento que se asocia las pérdidas de suelo, puede ser compensado con mayores láminas de agua de lluvia y con los fertilizantes (Arce-Díaz *et al.*, 1993; Rasmussen *et al.*, 1991; Swan, 1987), y b) las pendientes fuertes protegen contra los excesos de humedad; 3) el suelo del sitio experimental ha perdido unos 40 cm de horizonte superficial

Cuadro 4. Rendimientos medios de grano de maíz con 14% de humedad, asociados con las interacciones ciclos de cultivo X tratamientos, y años X ciclos de cultivo, promedios sobre tres años. Vistahermosa, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Factor	Rendimientos de maíz en dos ciclos de cultivo:		Promedios
	Otoño-invierno	Primavera-verano	
	----- t ha ⁻¹ -----		
Tratamientos			
0.75 m-TA	2.06 (0.38) ¹⁾	3.32	2.69 (0.27) ²⁾
1.00 m-TA	2.07	3.64	2.86
1.00 m-TM	1.76	3.29	2.53
Testigo	1.56	3.75	2.65
Años			
1991	1.27 (0.49) ³⁾	3.42	2.35 (0.35) ⁵⁾
1992	2.79	3.56	3.18
1993	1.53	3.52	2.52
Promedios	1.86 (0.28) ⁴⁾	3.50	

¹⁾Diferencia mínima significativa (DMS) al 1% para diferencias entre tratamientos dentro del mismo ciclo de cultivo.

²⁾DMS para medias de tratamiento.

³⁾DMS para años en el mismo ciclo de cultivo.

⁴⁾DMS para promedios por ciclo.

⁵⁾DMS para promedios anuales.

0.75 y 1.0 m = altura del seto; PA = tracción animal; TM = tracción mecanizada.

por erosión, en su historia agrícola de 40 años; y 4) el ciclo OI de la región se caracteriza por la alta probabilidad de sequía, en tanto que, para los suelos de pendiente somera los excesos de humedad son frecuentes en el ciclo PV.

En el Cuadro 5 se muestran menores rendimientos asociados con el tratamiento testigo, que con el tratamiento 1.00 m-TA, en el ciclo OI de los años 1990 a 1993. Las precipitaciones registradas durante el desarrollo vegetativo del maíz (noviembre-enero) y durante el desarrollo del grano

(febrero), son consistentes con las hipótesis de una menor capacidad de amortiguamiento de la sequía en el tratamiento testigo, que en el tratamiento 1.00 m-TA, y con la importancia clave de la precipitación de febrero, sobre el rendimiento. A pesar de la obvia insuficiencia de grados de libertad para estimar adecuadamente tales relaciones, en la Figura 1 se aprecian las asociaciones entre la precipitación de Febrero y los rendimientos obtenidos con los tratamientos testigo y 1.00 m-TA. Los consistentemente mayores rendimientos asociados con el tratamiento 1.0 m-TA, respecto al testigo, parecerían asociarse

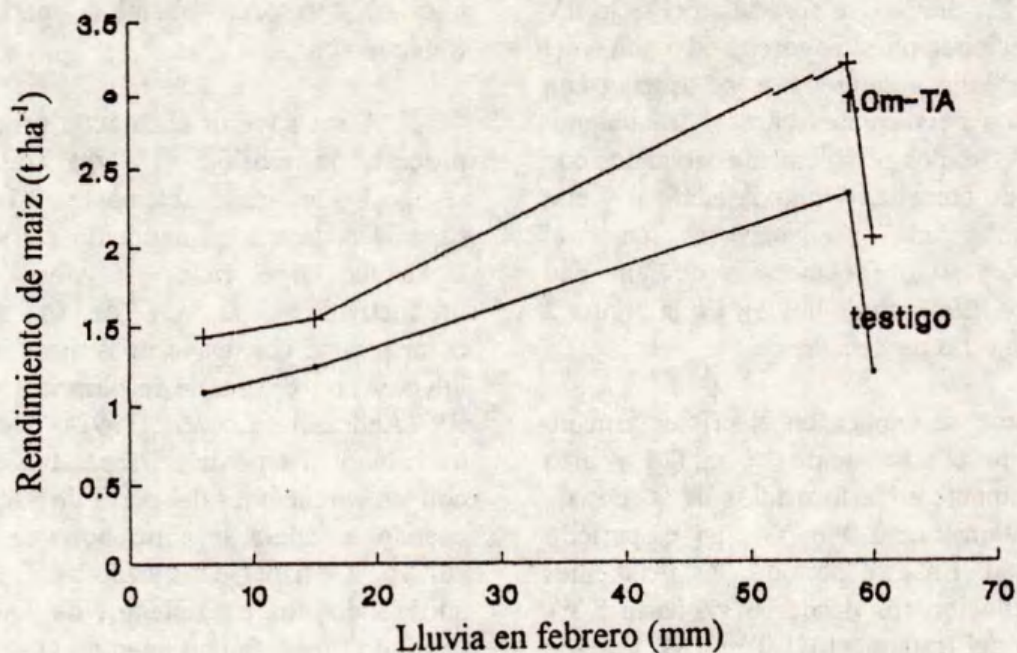


Figura 1. Lluvia de febrero y rendimiento del maíz en el ciclo otoño-invierno. 1.0 m (caída entre setos en metros, TA = tracción animal).

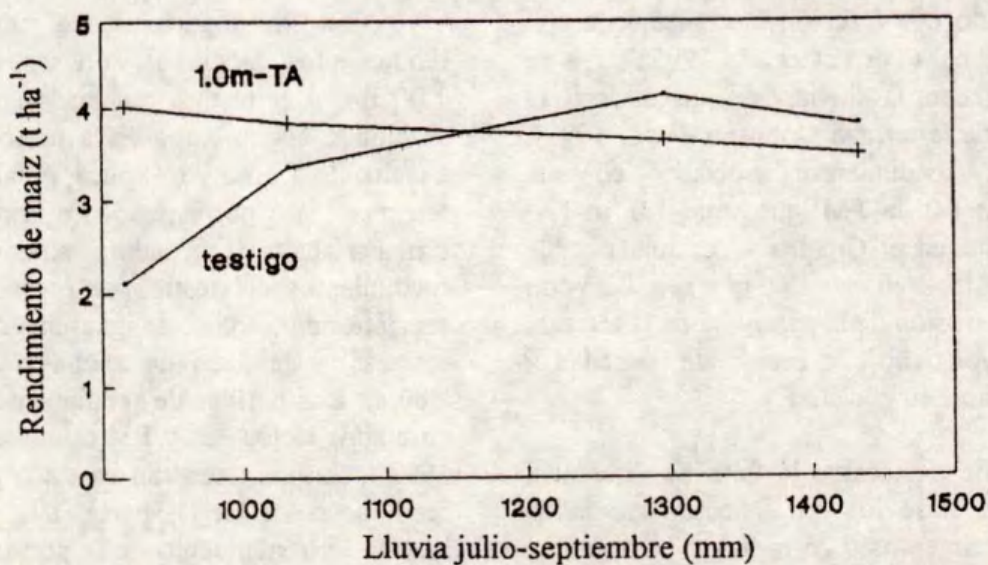


Figura 2. Relación entre la lluvia en julio-septiembre y el rendimiento en el ciclo primavera-verano. 1.0 m (caída entre setos en m); TA = tracción animal.

con un mayor aprovechamiento de la precipitación del período de desarrollo vegetativo (noviembre-enero) por parte del primero. En cambio, se aprecia en el ciclo PV que las precipitaciones mayores a 916 mm en el período de julio a septiembre, se asocian con rendimientos decrecientes para el tratamiento 1.00 m-TA, (daños posiblemente asociados con el exceso de humedad y anoxia edáfica) y con rendimientos cada vez mayores para el tratamiento testigo (deficiencias de humedad entre 916 y 1296 mm de lluvia). En la Figura 2 se aprecian estas tendencias.

Como se explica en el primer artículo de esta serie, el tratamiento 1.0 m-TM avanzó más rápidamente en la formación de la terraza, que el tratamiento 1.0 m-TA, en el período experimental. En este período, las pendientes medias evolucionaron desde 16.3% hasta 5.3% en el caso del tratamiento 1.0 m-TM, y desde 15.3% hasta 8.9% para el tratamiento 1.0 m-TA. Las alturas totales de los muros vivos fueron de 66 cm y de 47 cm, respectivamente. Esta diferencia se debió probablemente, a la mayor intensidad de roturación asociada con el equipo usado con tracción mecánica, que con tracción animal (Turrent *et al.*, 1995a), y a su interacción con la lluvia, lo que aceleró el desarrollo de la terraza (Johnson *et al.*, 1979). El menor rendimiento asociado con el tratamiento 1.0 m-TM que con 1.0 m-TA, como consta en el Cuadro 4, es una posible respuesta al laboreo excesivo que se asoció con una mayor erosión de la parte alta de la terraza, y a un mayor daño por exceso de humedad y anoxia edáfica, en el ciclo PV.

Es de destacarse la falta de diferencia significativa entre los rendimientos asociados con los tratamientos 0.75 m-TA y 1.00 m-TA, en ambos ciclos, aun cuando el espacio aprovechable para el cultivo de maíz es menor

en el primer tratamiento debido a la mayor frecuencia de setos: en un terreno con 15% de pendiente, habría 20 o 15 setos en cien metros lineales, respectivamente, para ambos tratamientos.

Cabe advertir el carácter progresivo del proceso de erosión del área tratada como testigo, que inexorablemente reducirá la capacidad de amortiguamiento del suelo hacia la sequía, en el ciclo OI, y hará perder su productividad más allá de lo que pueda compensarse con mayores láminas de agua de lluvia y con el uso de fertilizantes en el ciclo PV (Andraski y Lowery, 1992). De hecho, ya ha habido una pérdida irreparable en relación con las condiciones del perfil de hace 40 años, cuando la ladera se abrió por vez primera al cultivo. De haberse instalado las TMV hace 40 años, todos los tratamientos de TMV, aún el roturado más intensamente (1.00 m-TM), probablemente habrían retenido gran parte del estrato de 40 cm que ha sido aparentemente truncado, y en esa medida se habría retenido la productividad original.

En la Figura 3 se muestran los rendimientos asociados con los tratamientos 1.00 m-TA y testigo, en las seis Terrazas o secciones, según datos de la parte inferior del Cuadro 5. Como se explica previamente, las terrazas 1 a 6 corresponden a la secuencia de arriba a abajo de la ladera experimental. Los rendimientos del testigo se presentan en seis secciones de terreno, de igual magnitud que las terrazas, y también de arriba a abajo de la ladera. Los perfiles de rendimiento del testigo en ambos ciclos, OI y PV de los años 1991 a 1993 inclusive, muestran un claro gradiente de rendimientos entre las partes alta y baja de la ladera: el rendimiento de la parte más alta de la ladera equivale apenas a 72% en el ciclo OI y a 65% en el ciclo PV, del de la parte baja de

Cuadro 5. Relaciones entre la precipitación y los rendimientos promedio de maíz asociados con dos tratamientos, dos ciclos de cultivo y cuatro años. Ejido Vistahermosa, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Factor	Observaciones en cuatro años:							
	1990	1991	1992	1993	Promedios			
Ciclo otoño-invierno								
Rendimientos, t ha ⁻¹								
1.00 m-TA ¹⁾	2.05	1.44	3.22	1.55	2.07			
Testigo	1.20	1.09	2.33	1.25	1.47			
Precipitación, mm								
Nov.-enero ²⁾	110	369	158	172	202			
Febrero ³⁾	60	6	58	15	35			
Ciclo primavera-verano								
Rendimientos, t ha ⁻¹								
1.00 m-TA	4.01	3.83	3.63	3.47	3.74			
Testigo	2.10	3.35	4.12	3.79	3.34			
Precipitación, mm								
Julio-sept. ⁴⁾	916	1031	1296	1433	1169			
Observaciones en seis terrazas								
Factor	Ciclo	1	2	3	4	5	6	Prom.
Tratamiento testigo⁵⁾								
Rendimiento, t ha ⁻¹	OI	1.29	1.31	1.62	1.70	1.61	1.79	1.55
	PV	2.88	2.96	3.56	4.26	4.41	4.44	3.75
Pendiente, %		12.0	11.8	13.6	19.2	19.3	20.8	16.1
Tratamiento 1.00 m-TA								
Rendimiento, t ha ⁻¹	OI	1.49	2.01	2.33	2.20	2.03	2.37	2.07
	PV	3.95	3.87	3.69	3.41	3.02	3.91	3.64
AMV en 1993 ⁶⁾ , cm		59	44	47	46	33	54	47
Pendiente en 1988, %		17.3	17.2	13.1	10.9	12.9	20.3	15.3
Pendiente en 1993, %		10.0	8.3	7.7	6.2	7.5	13.6	8.9

¹⁾Significa 1 m de caída entre setos, y roturado con tracción animal y equipo de labranza ligero.

²⁾Periodo de crecimiento vegetativo del maíz, en el ciclo otoño-invierno (OI).

³⁾Periodo de desarrollo del grano, ciclo OI.

⁴⁾Periodo de desarrollo del maíz en el ciclo primavera-verano (PV).

⁵⁾Promedio de tres años, 1991 a 1993.

⁶⁾AMV significa altura del muro vivo.

la ladera. Esta tendencia es consistente con el síndrome de la erosión excesiva de la parte alta de una ladera desprotegida. En los próximos años, bajo el mismo proceso erosivo, se

ahondará primero el gradiente de rendimientos y avanzará inexorablemente cuesta abajo, el área de bajos rendimientos, en ambos ciclos de cultivo. Debe resaltarse en la misma Figura 3

que el tratamiento 1.00 m-TA elimina en gran medida al gradiente de rendimientos cuesta abajo.

En el Cuadro 6 se presenta la versión, previamente corregida por densidad de población, del análisis combinado de varianza para: tres años, dos ciclos, tres tratamientos de TMV, cinco posiciones de hilera, y seis terrazas. Se excluye en este nivel de análisis al tratamiento testigo. De la misma manera que en el análisis de varianza al nivel de terraza, el efecto de la corrección de los rendimientos por densidad de población, redujo los cuadrados medios de los errores experimentales al nivel de hilera, como sigue: en 5.9% al error "a", en 20.9% al error "b" y en 14.8% al error "c". Esta reducción en la magnitud de los errores

cambió sólo marginalmente las conclusiones de las pruebas de hipótesis. Estas señalan la significancia a 1% de los efectos factoriales: hilera, tratamientos X hileras, ciclos X hileras, ciclos X tratamientos X hileras, y años X tratamientos X hileras. Esta última interacción pasó de ser significativa a 5%, a serlo a 1%, con el ajuste de los rendimientos por densidad de población. La evidencia develada es pertinente a la interacción entre el seto y las hileras que lo flanquean.

Como se detalla en el primero de esta serie de artículos, los tratamientos que condujeron al desarrollo de la TMV produjeron un cambio en la pendiente media, que era de 14.5% en 1988 y de 6.1% en 1993. En este período, se desarrollaron muros vivos que

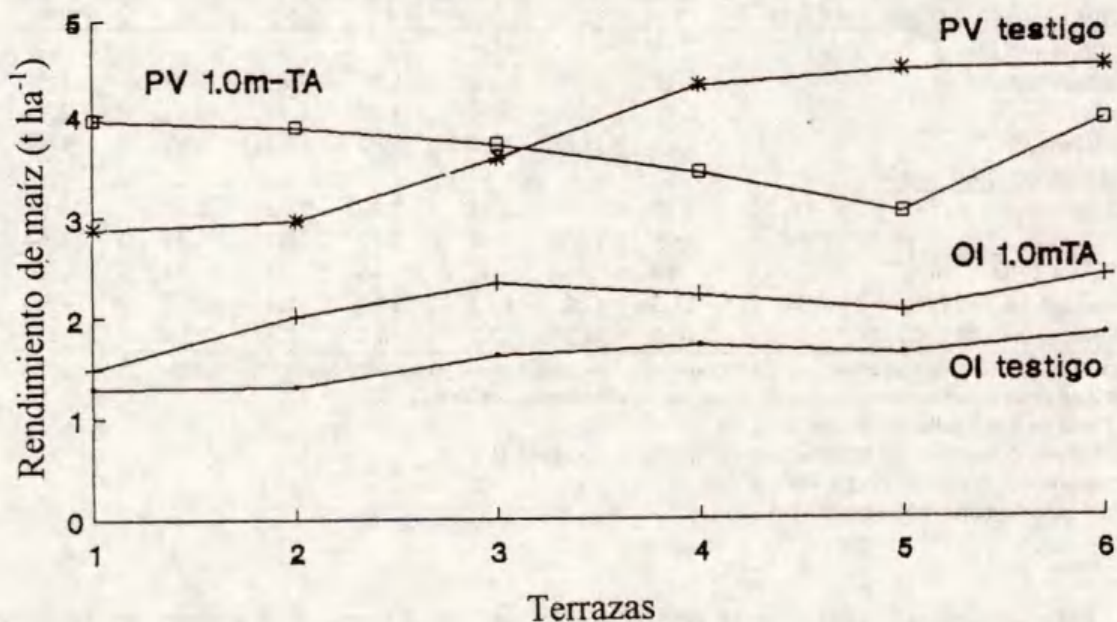


Figura 3. Perfiles de rendimiento del testigo y de 1.00 m-TA (caída entre setos-tracción animal). PV = primavera-verano; OI = otoño-invierno.

Cuadro 6. Análisis combinado de varianza del rendimiento de grano de maíz con 14% de humedad, según los factores años, ciclos, tratamientos, posición de la hilera, y terrazas. Ejido Vistahermosa, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Factor	G.L.	Cuadrado medio	Fc	Ft(1%)
Años, A	2	26.764919	13.2403**	5.3904
Ciclos, C	1	260.166727	128.7013**	7.5625
Años x ciclos, A*C	2	35.311702	17.4683**	5.3904
Error "a"	30	2.021476		
Tratamientos, T	2	7.494125	11.6313**	4.9774
A*T	4	1.239560	1.9239NS	3.6491
C*T	2	0.977715	1.5175NS	4.9774
A*C*T	4	0.835285	1.2964NS	3.6491
Error "b"	60	0.644309		
Hileras, H	4	26.718990	108.6155**	3.3192
A*H	8	0.419297	1.7045NS	2.5113
C*H	4	5.424847	22.0526**	3.3192
A*C*H	8	0.197564	0.8031NS	2.5113
T*H	8	1.645922	6.6908**	2.5113
A*T*H	16	0.586286	2.3833**	2.0385
C*T*H	8	0.897043	3.6466**	2.5113
A*C*T*H	16	0.453578	1.8438NS	2.0385
Error "c"	360	0.245996		

promediaron 51 cm y que están constituidos por 27 cm de sedimentos atrapados y por 24 cm de talud, este último aguas abajo del seto (Turrent *et al.*, 1995a). Aguas arriba del seto, donde se ubica la primera hilera de maíz, el suelo es más profundo y rico en materia orgánica, amén de que la estructura filtrante de sedimentos, ayuda a limitar el coeficiente de escurrimiento de las aguas de lluvia. Todo esto ayuda a entender el mecanismo de acción de la TMV, particularmente en el ciclo OI.

En el Cuadro 7 se muestran las medias de los rendimientos de maíz al nivel de hilera, para la interacción ciclos X tratamientos X hileras. Al nivel de promedio general, la segunda hilera de maíz (aguas arriba del seto)

se asocia con el máximo rendimiento, que no supera significativamente al rendimiento de las hileras centrales, pero sí a los del resto de las hileras. El rendimiento de la primera hilera no alcanza a compensar el espacio ocupado por el seto. El rendimiento más bajo es el de la última hilera. El modelo para entender este comportamiento podría ser que la primera hilera de maíz se ubica en la posición receptora de sedimentos y que compite con el seto por luz, agua y nutrimentos, y que ha de compensar con un mayor rendimiento, el espacio ocupado por el seto y el talud, para igualar el rendimiento de las hileras del centro de la terraza. La última hilera de maíz se ubica en la posición donante de sedimentos, lo que la hace susceptible al síndrome de erosión excesiva,

recién discutido. También esta última hilera de maíz, compete en desventaja creciente con el seto, al incrementarse cada año el desnivel entre la cota original y la cota actual de esta hilera, mientras que la cota original de la base del seto, permanece inalterada. El factor para expresar el rendimiento de la última hilera en $t\ ha^{-1}$, también es afectado por el espacio que ocupan el talud y el seto.

Al desagregar los rendimientos por ciclo de cultivo, se aprecia que en el ciclo OI (bajo condiciones frecuentes de sequía) el rendimiento de la primera hilera fue tan alto como los rendimientos de la segunda o de la hilera central, y superó significativamente a los rendimientos de la penúltima y última hileras de

maíz. La primera hilera de maíz compensó, en el ciclo OI, el espacio ocupado por el seto y el talud. A su vez, en el ciclo PV (bajo condiciones de suficiencia o de excesos de humedad), el rendimiento de la primera hilera fue inferior a los rendimientos de las hileras segunda a penúltima, que no difirieron entre sí. El rendimiento de la última hilera fue consistentemente el menor de todos.

Aparentemente, la primera hilera de maíz, se benefició por el aumento en el espesor del suelo y, posiblemente, por una mayor humedad residual del ciclo PV, que se asociaría con la presencia del seto. Tal interacción sería relevante bajo las condiciones de escasez de humedad que caracterizan al ciclo OI, dando

Cuadro 7. Rendimientos medios de grano de maíz con 14% de humedad, asociados con la interacción triple: ciclos X tratamientos X hileras, promediados sobre tres años y seis terrazas. Ejido Vistahermosa, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Ciclo ⁶⁾	Tratamiento ¹⁾	Rendimiento de maíz según la hilera:				
		Primera	Segunda	Central	Penúltima	Última
		----- $t\ ha^{-1}$ -----				
OI	0.75 m-TA	2.46(0.38) ²⁾	2.23	1.99	1.93	1.57
	1.00 m-TA	2.15	2.20	2.17	2.14	1.43
	1.00 m-TM	1.82	1.98	1.93	1.51	1.05
PV	0.75 m-TA	3.11	3.92	3.75	3.54	2.12
	1.00 m-TA	3.20	3.60	3.86	4.41	2.44
	1.00 m-TM	3.27	3.90	3.54	2.91	1.82
OI	Promedio	2.14(0.22) ³⁾	2.13	2.03	1.86	1.35
PV	Promedio	3.19	3.80	3.72	3.62	2.12
Prom.	0.75 m-TA	2.79(0.27) ⁴⁾	3.07	2.87	2.74	1.84
	1.00 m-TA	2.67	2.90	3.01	3.28	1.92
	1.00 m-TM	2.54	2.94	2.73	2.21	1.44
Prom.	Promedio	2.67(0.16) ⁵⁾	2.97	2.87	2.74	1.73

¹⁾0.75 m-TA significa caída entre setos, en m, con tracción animal; TM significa tracción motorizada.

²⁾Diferencia mínima significa, DMS al 1%, para tratamientos y ciclos en la misma hilera, o hileras dentro del mismo ciclo y tratamiento.

³⁾DMS para ciclos dentro de la misma hilera, o diferentes hileras dentro del mismo ciclo.

⁴⁾DMS para tratamientos dentro de la misma hilera, o diferentes hileras dentro del mismo tratamiento.

⁵⁾DMS para diferentes hileras.

⁶⁾OI = otoño-invierno; PV = primavera-verano.

ventaja a la primera hilera de maíz sobre el resto. Si tal fuera el caso, el seto sería contribuidor neto de humedad, más que competidor, en el ciclo OI. Esta ventaja dejaría de serlo en el ciclo PV, caracterizado por la abundancia de humedad. El síndrome de la erosión excesiva ayuda a entender el comportamiento de la última y la penúltima hileras de maíz, en el ciclo OI, marcado por la sequía frecuente.

En el ciclo PV, bajo suficiencia de agua, la penúltima hilera de maíz, cuyo suelo ha sufrido una erosión menos intensa que el suelo de la última hilera, alcanzó en rendimiento a la segunda hilera y a la hilera central. La última hilera rindió menos que todas, debido a los efectos de erosión excesiva, a la competencia con el seto y al factor por espacio. El menor

rendimiento de la primera hilera de maíz, en comparación con la segunda, central y penúltima, parecería involucrar a la competencia por luz con el seto, y al factor por espacio, en el ciclo PV.

Al desagregar adicionalmente la información al nivel de tratamiento, se aprecia que el rendimiento de la primera hilera del tratamiento 0.75 m-TA, superó en el ciclo OI al de sus homólogos de los tratamientos 1.0 m-TA y 1.0 m-TM, si bien solo significativamente al último. Esta superioridad desapareció en el ciclo PV.

Resalta la inferioridad del rendimiento de la primera, penúltima y última hileras del tratamiento 1.0 m-TM, en el ciclo OI. En cambio, solamente las hileras penúltima y

Cuadro 8. Costos por hectárea asociados con a) la instalación de terrazas de muro vivo con caídas de 1 m entre setos, en laderas con pendientes de 15 a 20%, y setos de *Gliricidia sepium* y b) mantenimiento anual de las mismas terrazas de muro vivo. Región de Los Tuxtlas, Veracruz.

Actividad	Unidad	Cantidad	Costo por hectárea
			NS
Instalación			415
Recolección de semilla ¹⁾	jornales	6	90
Trazo de contornos	jornales*	3	80
Surcado y siembra	jornales	3	45
Fertilización mano de obra	jornales	1	15
Insumo ²⁾	kg	50	50
Control de malezas ³⁾	jornales	9	135
Mantenimiento anual⁴⁾			105
Instalar camellón de rastrojo	jornales	3	45
Dos podas	jornales	4	60

*En este caso son jornales especializados, por tanto más caros.

¹⁾Se supone que hay abundancia de la especie como "cerco ganadero vivo", y que no tiene valor comercial.

²⁾Superfosfato de calcio triple, 46%

³⁾Combate manual de malezas a los 30, 60 y 120 días después de la siembra del seto.

⁴⁾Se supone que el mantenimiento de las TMV no causa aumento en el costo de la labranza primaria.

Cuadro 9. Series de rendimientos de maíz de cuatro años, dos ciclos de cultivo y cuatro tratamientos, observados en el ejido Vistahermosa, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Año	Ciclo de cultivo ¹⁾	Rendimiento de maíz			
		0.75m-TA ²⁾	1.00m-TA	1.00m-TM	Testigo
----- t ha ⁻¹ -----					
1	PV				
3 ³⁾	OI	2.54	2.05	1.96	1.20
	PV	3.95	4.01	2.91	2.10
4	OI	1.57	1.44	0.98	1.09
	PV	3.16	3.83	3.36	3.35
5	OI	3.00	3.22	2.63	2.33
	PV	3.28	3.63	3.21	4.12
6	OI	1.63	1.55	1.68	1.25
	PV	3.53	3.47	3.31	3.79
Promedios	OI	2.18	2.06	1.81	1.47
	PV	3.48	3.74	3.20	3.34

¹⁾ PV = primavera-verano; OI = otoño-invierno.

²⁾ 0.75 y 1.0 m = caída entre setos (m); TA = tracción animal; TM = tracción motorizada.

³⁾ La evidencia sugiere que a partir del ciclo OI del año 3, después de la instalación de las TMV, se detectan efectos sobre el rendimiento.

última se asocian con rendimientos inferiores significativamente a los de sus homólogos de los demás tratamientos, en el ciclo PV. Este detalle de comportamiento, complementa la descripción de lo señalado antes, con relación al síndrome de erosión excesiva previamente invocado.

En el Cuadro 8 se presentan los costos de instalación y de mantenimiento anual de una terraza de muro vivo en la región de Los Tuxtlas Veracruz. Para realizar el análisis financiero de los tres tratamientos con la tecnología TMV, se manejaron los rendimientos de maíz de dos maneras: 1) con la serie de tiempo observada experimentalmente y 2) con los rendimientos medios por tratamiento y por ciclo de cultivo de la misma serie de cuatro años. Estos coeficientes aparecen en el Cuadro 9. Se adoptaron los siguientes supuestos: 1) la inflación fue de 10% anual en el período de 6 años; 2) los precios de venta del maíz tienen el

valor nominal constante de N\$ 550 por tonelada, más N\$ 350 por hectárea, también nominales, del Procampo (SARH 1993); 3) los costos de instalación de la TMV con caídas de 0.75 m entre setos, son 33% mayores que los de los tratamientos con caída de 1.0 m, debido a la mayor frecuencia de setos; 4) los costos por cosecha y acarreo del maíz responden a la ecuación siguiente:

$$\text{costo} = 206 + 179 (Y - 1) - 4.5 (Y - 1)^2$$

donde:

El costo se expresa en N\$/ha; Y es el rendimiento en t/ha y los coeficientes fueron obtenidos por procedimientos empíricos, en la región del estudio; 5) los costos totales asociados con el uso de la TMV involucran solamente a los costos de instalación, mantenimiento, y de la cosecha de excedentes de grano, respecto al tratamiento testigo; y 6) los factores de manejo adicionales a la

tecnología de muro vivo, se manejan de manera constante en los tratamientos comparados, incluyendo al testigo. El sistema de cálculo se apoyó en las diferencias en rendimiento de los tres tratamientos de TMV, respecto al testigo. Los costos considerados son sólo los relacionados con la TMV, en tanto que los ingresos derivan sólo de las diferencias en rendimiento respecto al Testigo. El período de consideración fue de seis años.

En el Cuadro 10 se presentan los resultados del ejercicio. Cabe advertir que los costos mayores asociados con el tratamiento 0.75 m-TA se debieron a la mayor frecuencia de setos que para los tratamientos con caída de 1 m. Los menores costos del tratamiento 1.00 m-TM respecto de 1.00 m-TA, se debieron a sus menores rendimientos.

Solamente el tratamiento 1.00 m-TA tuvo relación beneficio/costo mayor a la unidad, bajo ambos procedimientos de cálculo, por tanto es rentable. El valor actual es de N\$

344.62 por ha según el primer procedimiento, y de N\$ 60.13 por ha, según el otro. No son rentables los otros dos tratamientos, en términos exclusivamente financieros, a plazos mediano o corto.

Si en el caso estudiado, la caída de 1.00 m entre setos fue mejor que la caída de 0.75 m, podría ser útil explorar en lo futuro, caídas aún mayores. La evidencia del efecto depresivo de la mayor intensidad del laboreo sobre la rentabilidad de la TMV es clara al comparar las rentabilidades de los tratamientos 1.00 m-TA y 1.00 m-TM.

Cabe advertir que la rentabilidad observada para el tratamiento 1.00 m-TA puede ser modesta y requiere un plazo mediano (seis años) para su maduración. Como se muestra en este estudio, los beneficios derivados de la instalación de la TMV comienzan a captarse a partir del ciclo OI del tercer año, después de

Cuadro 10. Análisis financiero del uso de la terraza de muro vivo (TMV) de acuerdo con tres tratamientos, según dos manejos de los rendimientos observados durante cuatro años y dos ciclos de cultivo.

Alternativa de cálculo	Tratamiento ¹⁾	Costo total ²⁾	Ingreso bruto	Relación B/C
		NS/ha	NS/ha	
Serie anual de rendimientos de 4 años	0.75 m-TA	1910.80	1883.84	0.99
	1.00 m-TA	1752.70	2097.32	1.20
	1.00 m-TM	1124.40	543.47	0.48
Rendimientos medios de 4 años	0.75 m-TA	2059.80	1690.60	0.82
	1.00 m-TA	1855.60	1915.73	1.03
	1.00 m-TM	1088.80	471.36	0.43

¹⁾0.75 y 1.0 m x caída entre setos, en m; TA = tracción animal; TM = tracción motorizada.

²⁾Pesos de 1994. El período incluye 6 años, la terraza de muro vivo se instaló en el primero, y se detectaron diferencias en rendimiento a partir del ciclo otoño-invierno del tercer año, así como en el 4o., 5o. y 6o.

instalada la TMV. De aquí que será recomendable subsidiar el uso de esta tecnología, sobre todo en el caso del sector social. Por tratarse de un cambio estructural de la parcela, será adecuado diseñar el plan de crédito refaccionario más adecuado al caso.

CONCLUSIONES

El desempeño de cuatro años de cultivo doble de maíz sobre una ladera severamente erosionada que fue acondicionada con terrazas de muro vivo, sugiere los siguientes puntos:

1. Los tratamientos de TMV que fueron laboreados con implementos ligeros (0.75m-TA y 1.00m-TA), se asociaron con rendimientos superiores en media tonelada por hectárea, al rendimiento obtenido con el tratamiento testigo, en el ciclo otoño-invierno. Este efecto puede deberse a una mayor eficiencia en el uso del agua de lluvia, factor limitante del rendimiento en ese ciclo de cultivo. El rendimiento asociado con el tratamiento 1.0 m-TA no difiere de aquél del testigo en el ciclo primavera-verano, cuando la disponibilidad de lluvia es abundante, en tanto que el rendimiento asociado con el tratamiento 0.75 m-TA es inferior al del testigo.
2. El tratamiento de TMV sujeto a laboreo intenso (1.00 m-TM) se asoció con rendimientos que, aunque mayores, no superaron significativamente a los del testigo, en el ciclo OI. En cambio, si fue superado significativamente por el testigo, en el ciclo PV. Este comportamiento podría explicarse por un movimiento excesivo de material de suelo de la capa arable en el área donante y por una reducción demasiado rápida de la pendiente. Lo primero se

asociaría con una última hilera expuesta a sequía severa en el ciclo OI, y lo segundo agudizaría el exceso de agua en el ciclo PV.

3. Se encontró evidencia de que la precipitación de julio-septiembre más baja en el período de observación (916 mm) pudo ser ya excesiva para el tratamiento de TMV 1.00 m-TA (anoxia edáfica), y en cambio ser insuficiente para el tratamiento testigo. Las precipitaciones mayores se asociaron con rendimientos progresivamente menores del tratamiento 1.00 m-TA, y con rendimientos progresivamente mayores del tratamiento testigo, dentro del ámbito de precipitación de 916 a 1296 mm.
4. El tratamiento de 1.00 m-TA (1 m de caída entre setos con laboreo ligero) resulta rentable a plazo mediano, para condiciones similares a la estudiada. Sin embargo, es previsible que la adopción de esta tecnología requiera de esquemas adecuados de subsidio, y de otros servicios de apoyo.

LITERATURA CITADA

- ANDRASKI, B. J., and B. LOWERY. 1992. Erosion effects on soil water storage, plant water uptake, and corn growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1911-1919.
- ARCE-DIAZ, E., A. M. FEATHERSTONE, J.R. WILLIAMS, and D.L. TANAKA. 1993. Substitutability of fertilizer and rainfall for erosion in spring wheat erosion. *J. Prod. Agric.* 6: 72-76.
- DRAPER, N.R. and H. SMITH. 1966. *Applied regression analysis*. John Wiley & Sons Inc. New York, USA.
- GARCIA L. R. 1983. Diagnóstico sobre el estado de la erosión en México. *Terra* 1: 11-14.
- JOHNSON, C.B., J.W. MANNERING, and W.C. MOLDENHAUER. 1979. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 772-777.
- KANG, B.T., H. GRIMME, and T.L. LAWSON. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in Southern Nigeria. *Plant Soil* 85: 267-277.
- MENDOZA R., R., J.I. CORTES F., A. TURRENT F., J. J. CASTELLON G. y J. DIAZ A. 1994. Desarrollo de la multibarra portainplementos de tracción animal línea Plan Puebla. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

- PACARDO, E.P. 1984. Soil erosion and ecological stability. pp. 82-85. In: E.T. Craswell, J.V. Remenyi, and L.G. Nallana (eds.). Soil erosion management. Proceedings of a Workshop held at PCARRD, Los Baños, Philippines.
- RASMUSSEN, P.E. 1991. Effect of rill erosion during early vegetative growth on winter wheat yield. *Agron J.* 83: 729-732.
- RITCHIE, S.W. and J.J. HANWAY. 1984. How a corn plant grows. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, USA.
- SARH. 1993. Procampo: vamos al grano para progresar. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- SWAN, J.B. 1987. Simulating effects of soil depth and climatic factors on corn yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1025-1032.
- TURRENT F., A., S. URIBE G., N. FRANCISCO N. y R. CAMACHO C. 1995a. La Terraza de muro vivo, para laderas del trópico subhúmedo de México. I. Análisis del desarrollo de la terraza durante seis años. *Terra*: 276-298.
- TURRENT F., A., S. URIBE G., N. FRANCISCO N., R. CAMACHO C., M. ESPINOSA R. y R. MORENO D. 1995b. La terraza de muro vivo, para laderas del trópico subhúmedo de México. II. Cambio de algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Terra*: 299-316.
- URIBE G., S. 1985. Evaluación de alternativas para el aprovechamiento de la fuerza de trabajo en pequeñas unidades de producción en el trópico de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- VAZQUEZ A., V. 1987. La erosión y conservación del suelo en México. Realidades y perspectivas. Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. SARH. México, D.F.
- WORLD BANK. 1987. *Vetiver grass (Vetiveria Zizanioides) a method of vegetative soil and moisture conservation*, 2nd ed. PS. Press Services PVT, LTD. New Delhi, India.

ENCALADO Y DISPONIBILIDAD DE FOSFORO Y POTASIO EN SUELOS ACIDOS

Liming and Phosphorus and Potash Availability in Acid Soils

Rigoberto Zetina Lezama¹, Lenom J. Cajuste², Jorge Alvarado López²,
Antonio Trinidad Santos², Luis L. Landois Palencia³

¹Campo Experimental Papaloapan, INIFAP-CIRGOC, Isla, Veracruz

²Instituto de Recursos Naturales
Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.

³Instituto de Socioeconía, Estadística e Informática,
Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: Retención de P, Cal, pH del suelo, Suelos tropicales, *Zea mays* L.

Index works: Phosphorus retention, Lime, Soil pH, Tropical soils, *Zea mays* L.

RESUMEN

Se investigó el efecto del encalado sobre la capacidad de retención de P y la disponibilidad de K en dos suelos ácidos del sur de Veracruz, México. En invernadero, se cuantificó el impacto del P y K sobre la producción de materia seca del maíz (*Zea mays* L.) y la cantidad de P y K absorbida por la planta. Se usó un diseño experimental completamente al azar, con 24 tratamientos y tres repeticiones, en el cual

se incluyeron dos suelos, dos niveles de CaCO₃, dos niveles de P y tres niveles de K. El encalado incrementó la capacidad de retención de P en uno de los suelos estudiados. En ambos suelos el encalado no afectó la disponibilidad de K; mientras que la aplicación de P incrementó el rendimiento de materia seca. La aplicación de Ca + P incrementó el rendimiento de materia seca cuando se incrementó la dosis de K.

SUMMARY

The effect of liming on P retention capacity and K availability in two acid soils of Southern Veracruz, Mexico, were studied. Aside from this, the impact of P and K on dry matter production and the amount of P and K uptake by the maize (*Zea mays* L.) plant were evaluated in a greenhouse experiment using a

Recibido 3-95.

completely randomized experimental design with 24 treatments and three replicates, accomodating two soils, two lime levels, two P levels, and three K levels. P retention capacity increased significantly with the addition of lime in one of the two soils. In both soils liming did not affect significantly K availability; while P applied to both soils increased significantly dry matter yield. The application of P and lime increased dry matter yield when the dose of K was also increased.

INTRODUCCION

La acidez del suelo es uno de los principales factores que limitan la producción agrícola en los suelos tropicales. Algunos de los problemas relacionados con la acidez del suelo son la deficiencia de Ca, Mg, Mo y P; la toxicidad de Al y Mn e incluso, en Oxisoles y Ultisoles muy intemperizados, la deficiencia de K.

El efecto del encalado sobre la eficiencia de los fertilizantes fosfatados y potásicos, y sobre la producción de los cultivos en los suelos del trópico, es uno de los temas de investigación más trabajados actualmente en todo el mundo. Dado que sus resultados han sido inconsistentes, su utilización en el mejoramiento de la productividad de los suelos del trópico es muy criticada.

Uno de los principales beneficios del encalado es el incremento de la disponibilidad de P en el suelo (Alvarado *et al.*, 1991). No obstante, autores como Cajuste *et al.* (1994) y Von Uexkull (1986) mencionan que el encalado puede reducir la concentración de P en la solución del suelo a niveles deficientes, dependiendo de la cal aplicada. En

experimentos establecidos en el trópico se ha logrado incrementar el rendimiento de los cultivos como respuesta a la aplicación de P en suelos encalados. Arca (1987) atribuye tal éxito a que la cal incrementa los valores de pH y con esto disminuye la capacidad de retención de P por parte de los óxidos e hidróxidos de Fe y Al.

Otras investigaciones han demostrado efectos negativos del encalado sobre la disponibilidad de P (Harrison y Adams, 1987). En este caso se argumenta que la presencia de Ca^{2+} contrarresta el efecto del incremento del pH, sobre la retención de P debido a la formación de fosfatos de calcio (Hojito *et al.*, 1987). Reeve y Sumner (1970) encontraron, al eliminar el Al^{3+} con el encalado, que no se redujo la fijación de P en Oxisoles. Ellos atribuyen este resultado a la incapacidad de la cal para mejorar la disponibilidad de P, debido a la formación de sesquióxidos por la reacción del Al^{3+} con la cal.

Por otra parte, el efecto del encalado sobre la nutrición de K por las plantas está correlacionado con la cantidad de cal aplicada. Pequeñas cantidades pueden deprimir la absorción de K por varias razones; al disminuir la acidez con el encalado, las cargas minerales dependientes del pH incrementan la capacidad de intercambio catiónico y con ello incrementan la capacidad del suelo para adsorber K (Von Uexkull, 1986). Además, puesto que la difusión en la solución del suelo es el mejor mecanismo por el cual las raíces absorben el K, la reducida concentración en la solución del suelo afecta la absorción de K. El encalado también incrementa el número de sitios de adsorción selectiva de K, que a bajos valores de pH pueden ocuparse por hidroxipolímeros de Al (Kemmler, 1980).

La discrepancia entre estas experiencias demuestra que aún no se conoce lo suficiente sobre las reacciones de los fertilizantes fosfatados y potásicos con la cal en suelos tropicales altamente lixiviados. Lo anterior sugiere que es necesario mayor investigación para identificar el papel del encalado sobre la eficiencia de los fertilizantes de P y K en los suelos tropicales. Con estos antecedentes, esta investigación tuvo como objetivos principales:

- a) evaluar el efecto del encalado sobre la disponibilidad de P y K en suelos ácidos del sur de Veracruz, así como su impacto en el rendimiento de materia seca del cultivo de maíz;
- b) cuantificar el nivel nutricional de P y K en plantas de maíz desarrolladas en suelos encalados y fertilizados con fósforo y potasio.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se hizo con dos suelos; uno, del ejido Los Tigres y otro, del ejido La Luisa, ambos ubicados en los Llanos de Isla y Rodríguez Clara, al sur de Veracruz, México. En cada uno de estos sitios se tomó una muestra compuesta, integrada por 20 submuestras colectadas a una profundidad de 0 a 20 cm. Los suelos se secaron al aire y a la sombra. Para los análisis de laboratorio se trabajó con submuestras que pasaron por un tamiz con malla número 10(2 mm). En cada uno de los suelos se determinaron las siguientes propiedades: pH en H₂O y KCl 1 N, ambos en una relación suelo-solución 1:2 (Jackson, 1964); materia orgánica (Walkley, 1947); P extractable (Bray y Kurtz, 1945); fijación relativa de P (Alvarez, 1982); acidez intercambiable (Barnhisel y Bertsch, 1982) y K intercambiable (Cajuste *et al.*, 1983). Los

resultados obtenidos en estos análisis se presentan en el Cuadro 1.

Se pesaron 2.2 kg de suelo y se colocaron en macetas (36 por cada suelo), a 18 se les aplicaron 120 mg de CaCO₃ grado analítico/100 g de suelo (la dosis se estimó con el método propuesto por McLean, 1982), a las 18 restantes de cada suelo no se les aplicó cal. Las macetas se cubrieron con un plástico y se dejaron en incubación, a capacidad de campo y temperatura ambiente, durante 45 días. Posteriormente, se aplicó en cada unidad experimental (de acuerdo con la distribución de tratamientos) 0 y 100 ppm de P y 0, 75 y 150 ppm de K, a partir de una solución patrón de Ca(H₂PO₄)₂.H₂O grado reactivo y de KCl, respectivamente. Los suelos se mantuvieron en incubación, a capacidad de campo y temperatura ambiente, durante 15 días más.

Los suelos se secaron hasta aproximadamente 15% de humedad y se tomó una muestra de 200 g de suelo/maceta para evaluar: el contenido de P extractable (Olsen *et al.*, 1954); la capacidad máxima de retención de P por medio de la isoterma de Langmuir (con la metodología descrita por Olarte y Muñoz, 1973); y el contenido de K intercambiable (Cajuste *et al.*, 1983).

En el invernadero se estableció un ensayo con maíz H-512, en el cual se incluyeron dos suelos (Los Tigres y La Luisa), dos niveles de cal (0 y 120 mg de CaCO₃ 100 g⁻¹ de suelo), dos niveles de P (0 y 100 ppm) y tres niveles de K (0, 75 y 150 ppm), con tres repeticiones, en un diseño experimental completamente al azar. Por cada unidad experimental se dejaron dos plantas y se aplicó, cada ocho días, 100 mL maceta⁻¹ de la solución nutritiva de Waugh y Fitts (1966). Después de 45 días de la emergencia, se cosechó la parte

Cuadro 1. Algunas características químicas de los suelos estudiados.

Características	Suelo	
	La Luisa	Los Tigres
pH en agua	4.4	4.8
pH en KCl 1 N	3.8	4.4
Materia orgánica (%)	1.6	2.4
H intercambiable (meq/100 g de suelo)	0.19	0.04
Al intercambiable (meq/100 g de suelo)	0.21	0.27
Acidez total (meq/100 g de suelo)	0.40	0.31
P Extractable (Bray P-1 ppm)	27.0	24.9
K intercambiable (cmol/kg)	0.49	0.63
Retención de P (%)	33.3	57.85
Tipo de suelo ^{a1)}	Cambisol éútrico	Cambisol éútrico

¹⁾Carta edafológica E15C12 "Juan Rodríguez Clara". Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.

aérea de la planta, se lavó con agua destilada y se secó a 65-70 °C hasta un peso constante; luego se registró su peso seco y se molió en un molino Wiley con una malla número 40. La evaluación de P y K en el tejido vegetal se realizó por el método de la digestión húmeda, con una mezcla de doble ácido compuesta por cuatro partes de H₂SO₄ y una parte de HClO₄ (Batey *et al.*, 1974). La cuantificación de K se efectuó por flamometría y la de la P por el método del amarillo de molibdo-vanadato (Jackson, 1964).

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del encalado sobre el pH del suelo

Los valores de pH en agua y KCl 1 N en suelos encalados y sin encalar, se presentan en el Cuadro 2. Se encontró que en el suelo de La Luisa el encalado incrementó el pH en 3.0 unidades; en tanto que en el suelo de Los Tigres lo hizo tan solo en 0.8 unidades. Lo anterior refleja una mayor capacidad amortiguadora del suelo de Los Tigres, debido probablemente a su mayor contenido de materia orgánica y arcillas (Yagodin *et al.*,

1986). Algo similar se observó con las mediciones de pH en KCl 1 N, donde el encalado incrementó en 2.8 unidades el pH del suelo La Luisa y 0.8 unidades el suelo de Los Tigres.

Efecto del encalado sobre los componentes de la isoterma de adsorción de fósforo de Langmuir

En el suelo de La Luisa, el encalado incrementó la capacidad de retención máxima (b) de P (Cuadro 2). Posiblemente, en este caso, la cal agregada formó compuestos estables con el P existente en la solución del suelo (Haynes, 1982); o bien, favoreció la formación de hidróxidos de Al con lo cual se incrementó la superficie capaz de adsorber P (Haynes, 1984), aunque este aumento no fue significativo.

La constante relacionada con la energía de enlace (k) siguió un comportamiento similar al parámetro b. En el caso del suelo de La Luisa, el valor del parámetro k disminuyó de 1.22 a 0.26 con la aplicación de cal; mientras que en el suelo de Los Tigres disminuyó de 2.29 a 1.40.

Cuadro 2. Valores de pH y de los parámetros b y k de la isoterma de Langmuir de los suelos estudiados (Promedio de tres repeticiones).

Parámetro	Suelo	
	La Luisa	Los Tigres
Tratamientos encalados		
pH en agua	7.1	5.3
pH en KCl 1 N	6.4	4.5
b (mg P adsorbido/g de suelo)	0.092	0.164
k (L/mg de P)	0.26	1.40
Tratamientos sin encalar		
pH en agua	4.1	4.5
pH en KCl 1 N	3.6	3.7
b (mg P adsorbido/g de suelo)	0.057	0.176
k (L/mg de P)	1.22	2.29

Cuadro 3. Niveles de P y K disponible en cada uno de los tratamientos estudiados en los suelos de los ejidos La Luisa y Los Tigres, Veracruz.

Tratamiento	Suelo			
	La Luisa		Los Tigres	
	P-Olsen	K extraído con NH ₄ OAc	P-Olsen	K extraído con NH ₄ OAc
	ppm	cmol kg ⁻¹	ppm	cmol kg ⁻¹
Encalado+100 ppm P	83.4	0.14	56.2	0.28
Encalado+100 ppm P+75 ppm K	74.5	0.34	56.8	0.51
Encalado+100 ppm P+150 ppm K	72.3	0.50	60.6	0.61
Encalado	12.8	0.14	10.1	0.28
Encalado+75 ppm K	13.9	0.35	8.8	0.49
Encalado+150 ppm K	12.5	0.47	9.0	0.62
100 ppm P	89.1	0.14	63.1	0.29
100 ppm P+75 ppm K	85.7	0.31	64.0	0.51
100 ppm P+150 ppm K	87.7	0.52	62.2	0.61
Testigo	15.9	0.14	11.9	0.29
75 ppm K	16.3	0.35	10.7	0.47
150 ppm K	17.4	0.49	11.7	0.63

Efecto del encalado sobre la disponibilidad del fósforo

En el suelo de La Luisa, se recuperó 67.6% del P agregado a los suelos encalados, esto significa que el suelo retuvo 32.4% del P agregado (Cuadro 3); por otra parte, al no agregar cal se recuperó 73% del P aplicado.

En el suelo de Los Tigres, en los tratamientos encalados, se recuperó 44.32% del P agregado, mientras que cuando no se aplicó cal se recuperó 51% del P aplicado (Cuadro 3); es decir, en ambos casos la disponibilidad de P se redujo con el encalado, lo cual se explica en el suelo La Luisa por el hecho de que el pH se elevó hasta 7.1. El análisis de varianza (datos

no presentados) registró una diferencia altamente significativa del encalado sobre la disponibilidad del P. Alvarado *et al.* (1991) encontraron un comportamiento similar en un suelo del estado de México; ellos atribuyeron tal fenómeno a la posible formación de fosfatos de baja solubilidad, por efecto de sobreencalado.

Las plantas establecidas en suelos tratados con P + Cal no mostraron síntomas de deficiencias de P, por lo que se deduce que el P remanente fue suficiente para nutrir adecuadamente al cultivo. En cambio, los tratamientos que no incluyeron adición de P presentaron una coloración púrpura en las hojas, evidencia de una deficiencia de P (Yagodin *et al.*, 1986).

Efecto del encalado sobre la disponibilidad del potasio

El análisis de varianza de la variable K intercambiable (datos no presentados) demostró que en los dos suelos estudiados el encalado no afectó la disponibilidad del K, ya que en todos los casos en que se agregó K, éste se recuperó en su totalidad (Cuadro 3).

Respuesta del maíz al encalado y la aplicación de P y K

Rendimiento de materia seca. En el suelo de La Luisa el encalado P no tuvo efecto en el rendimiento de materia seca, al igual que la aplicación conjunta de Ca + K (Cuadro 4).

Por otra parte, se observó una reducción significativa en la producción de materia seca conforme se incrementó la dosis de K. Lo anterior probablemente se debió a un desbalance nutricional por falta de una cantidad adecuada de P, ya que con una dosis de 100

ppm de P se observó un efecto lineal y positivo del K sobre el rendimiento de materia seca. La aplicación de 100 ppm de P mejoró el rendimiento de materia seca en 111%.

En el suelo de Los Tigres, la dosis de 100 ppm de P incrementó significativamente la producción de materia seca de 3.3 a 8.0 g/unidad experimental; mientras que la dosis de 75 ppm de K la incrementó de 3.3 a 4.8 g/unidad experimental (Cuadro 4). La adición de P+K aumentó el rendimiento en comparación a cuando se aplicaron estos elementos en forma individual; es decir, se presentó un efecto sinérgico. El encalado no tuvo ningún efecto en el rendimiento, en este suelo. Esto significa que el principal problema en este suelo es la deficiencia de fósforo. Sobre estos resultados, Sumner (1979) señala que en suelos ácidos con bajo contenido de aluminio intercambiable, el fósforo aplicado puede actuar como encalante y neutralizar al aluminio.

La aplicación conjunta de P+K registró una tendencia lineal en la cual, a medida que se incrementó la dosis de K, disminuyó significativamente la concentración de P en el tejido vegetal. Es posible que este comportamiento se deba a un efecto de dilución, pues en ambos casos se incrementó el rendimiento de materia seca, conforme se incrementó la dosis de K.

En el suelo de Los Tigres, la aplicación de 100 ppm P mejoró significativamente la absorción de este elemento. Por otra parte, la aplicación de K mostró un impacto ligeramente negativo sobre la concentración de P en el tejido vegetal, sin embargo, esta diferencia puede atribuirse a un posible efecto de dilución. Con respecto a la aplicación conjunta de P+K, se encontró que este tratamiento

Cuadro 4. Rendimiento de materia seca y concentración de P + K en el tejido vegetal del cultivo de maíz establecido en los suelos de La Luisa y Los Tigres, Veracruz.

Tratamiento	Suelo					
	La Luisa			Los Tigres		
	Mat. seca	P	K	Mat. seca	P	K
	g	----- % -----		g	----- % -----	
Encalado+100 ppm P	12.6	0.30	0.50	8.4	0.18	1.66
Encalado+100 ppm P+75 ppm K	15.1	0.28	0.84	10.5	0.15	1.97
Encalado+100 ppm P+150 ppm K	17.8	0.22	1.21	11.1	0.13	2.91
Encalado	5.4	0.13	1.17	2.5	0.17	3.32
Encalado+75 ppm K	5.3	0.13	1.98	3.7	0.14	3.36
Encalado+150 ppm K	5.7	0.13	2.91	2.4	0.14	3.52
100 ppm P	11.4	0.32	0.39	8.0	0.19	2.01
100 ppm P+75 ppm K	13.7	0.23	0.88	10.9	0.16	1.91
100 ppm P+150 ppm K	16.1	0.24	1.37	11.3	0.15	2.58
Testigo	5.3	0.12	0.91	3.3	0.12	2.54
75 ppm K	4.9	0.12	1.66	4.8	0.11	3.07
150 ppm K	4.3	0.13	2.10	3.2	0.12	3.11

siguió un comportamiento lineal en el cual, a medida que se incrementó la dosis de K, disminuyó significativamente la concentración de P en la planta. La aplicación de P+K+Ca también siguió un comportamiento similar al indicado anteriormente.

La respuesta favorable de la planta a la aplicación de P coincide con los resultados obtenidos por Ryan y Smillie (1975), así como con lo señalado por Sumner (1979) en el sentido de que la sola aplicación de P en los suelos ácidos permite una mayor absorción de P por el cultivo.

Concentración de K en la planta

En el suelo de La Luisa el encalado incrementó la concentración de K en el tejido vegetal 30%; mientras que la aplicación de P la redujo 51% (Cuadro 4). Es probable que este

efecto negativo esté relacionado con el incremento en la producción de materia seca por lo cual se sospecha de un posible efecto de dilución. Esto puede confirmarse si se observa que la aplicación de P en un suelo encalado incrementó la producción de materia seca de 5.40 a 12.60 g/unidad experimental y, consecuentemente, la concentración de K en el tejido vegetal disminuyó de 1.17 a 0.5%. Los resultados indican que la dosis de 150 ppm de K permitió suministrar al maíz el K requerido para su desarrollo normal; sin embargo, cuando el K interactuó con el P o Ca, la producción de materia seca se incrementó notablemente. El análisis de varianza para el K extraído por el cultivo (datos no presentados) registró una diferencia altamente significativa, en la cual, a medida que se incrementó la dosis de K también se incrementó la extracción de este nutrimento.

En el suelo de Los Tigres el encalado incrementó la concentración de K en el tejido

vegetal en 31%, mientras que la aplicación de P la disminuyó en 21%. Las evidencias indican que este comportamiento se debe a un efecto de dilución, producto de un mayor rendimiento de materia seca. El análisis de K extraído por la planta ratifica la tesis anterior, ya que este muestra que la aplicación de P incrementó la extracción de K del suelo (datos no reportados).

CONCLUSIONES

1. El encalado no tuvo un efecto significativo en el rendimiento de maíz; por el contrario, la aplicación de P fue suficiente para incrementar el rendimiento de este cultivo. Esto pudo deberse al bajo contenido de aluminio intercambiable de los suelos.
2. El encalado no afectó la disponibilidad del K, mientras que la de P disminuyó ligeramente. Sin embargo, en ambos suelos la concentración de P en el tejido vegetal no registra diferencias atribuibles a la aplicación de cal.
3. En ambos suelos, la aplicación de P permitió al maíz absorber el P suficiente para su desarrollo en los tratamientos sin cal y sin K. Cuando se aplicó Cal+K el rendimiento de materia seca aumentó; es decir, el K por sí solo no tuvo efecto en el rendimiento, sin embargo, al aplicarlo en presencia de P se observó un incremento respecto a cuando se aplicó únicamente P.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO L., J., L.J. CAJUSTE y S. INFANTE G. 1991. Efecto del encalado en el rendimiento de maíz y algunas propiedades del suelo. *Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima* 2(4): 7-18.
- ALVAREZ, V.H. 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora del fosfato en la evaluación del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, edo. Mich. Tesis de Doctorado en Ciencias, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ARCA, M. 1987. Efficient use of phosphorus fertilization in acid tropical soils. pp. 179-186. *In: P.A. Sánchez, E.R. Stoner, and E. Pushparajah (eds.) Management of acid tropical soil for sustainable agriculture. Proceedings of an International Board for Soil Research Management. Inaugural workshop. Bangkok, Thailand.*
- BARNHISEL, R., and P.M. BERTSCH. 1982. Aluminum. *In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of soils analysis, Part 2. Agronomy 9. Second edition. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.*
- BATEY, T., M.S. CHESSNER, and I.R. WILLETT. 1974. Sulphuric acid digestion of plant material for nitrogen determination. *Anal. Chem. Acta.* 69: 484-487.
- BRAY, R.J., and L.T. KURTZ. 1945. Determination of total, inorganic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- CAJUSTE, L. J., R.J. LAIRD, J. CRUZ D., and L. CAJUSTE Jr. 1994. Phosphate availability in tropical soils as related to phosphorus fractions and chemical tests. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 25: 1881-1889.
- CAJUSTE, L., J., R.J. LAIRD, and M.C. OLMEDO B. 1983. Ion exchangeable in some soils with variable charge. *Agronomy Abstracts.* p. 146. Soil Science Society of America, Washington, D.C., USA.
- HARRISON, R.B., and F. ADAMS. 1987. Solubility characteristic of residual phosphate in a fertilized and limed Ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 963-969.
- HAYNES, R.J. 1982. Effect of liming on phosphate availability in acid soil. *Plant Soil* 68: 289-308.
- HAYNES, R.J. 1984. Lime and phosphate in the soil-plant systems. *Adv. Agron.* 37: 249-315.
- HOJITO, M., S. HIGASHIDA, A. NISHIMUNE, and K. TAKAO. 1987. Effects of liming on grass growth, soil solution composition, and microbial activities. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 33: 177-185.
- JACKSON, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J.M. Beltrán. Ed. Omega, Barcelona, España.
- KEMMLER, G. 1980. Potassium deficiency in soils of the tropics as a constraint to food production. pp. 253-275. *In: Priorities for alleviating soil-related constraint to food production in tropics. IRRRI, Los Baños, Philippines.*
- McLEAN, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. Pp. 199-224. *In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of soils analysis, Part 2. Agronomy 9. Second edition. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.*
- OLARTE R., L. y B.M. MUÑOZ. 1973. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Cuarta edición. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Instituto Geográfico "Agustin Codazzi. Bogotá, Colombia.
- OLSEN, S.R., C.V. COLE, F.S. WATANABE, and L.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. of Agric. Circ. 939: 1-19.
- REEVE, N.G., and M.E. SUMNER. 1970. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 263-267.
- RYAN, J.C., and G.W. Smillie. 1975. Liming in relation to soil acidity and P fertilizer efficiency. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 6: 409-420.
- SUMNER, M.E. 1979. Response of alfalfa and sorghum to lime on high weathered soil. *Agron. J.* 71: 763-766.

- VON UENKULL, R.H. 1986. Efficient fertilizer use and acid upland soil of the humid tropics. Fertilizer and Plant Nutrition. Bulletin No. 10. FAO, Roma, Italia.
- WALKLEY, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils, effect of variation in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63: 251-263.
- WAUGH, L.D., y W.J. FITTS. 1966. Estudios de interpretación de análisis de suelos. Laboratorio y macetas. Boletín Técnico No. 3 de la Serie Proyecto Internacional de Análisis de Suelo. Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Carolina del Norte, Carolina del Norte, EUA.
- YAGODIN, B., P. SMIRNOV, A. PETERBURGSKI. 1986. Agroquímica. Tomo I. Editorial Mir. Moscú, URSS.

EVALUACION DE ABONOS VERDES EN UN CLIMA SEMIARIDO DEL ESTADO DE COLIMA, MEXICO

Green Manure Crops Evaluation in a Semi-Arid Climate of Colima, Mexico

Octavio Pérez Zamora

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

Palabras clave: *Clitoria*, *Crotalaria*,
Mejoradores del suelo.

Index words: *Clitoria*, *Crotalaria*, Soil
amendments.

RESUMEN

Para determinar la adaptación y los factores que influyen en el desarrollo de abonos verdes se estableció un experimento en un clima semi-árido de Tecomán, Colima. El trabajo se condujo por un período de tres años en suelo Orthoustalf típico, familia franca, de mineralogía mezclada de origen aluvial, régimen de temperatura isohipertérmico. Los abonos verdes probados fueron *Crotalaria* (CR), *Clitoria* (CL), sorgo forrajero (SF), maleza espontánea (MAL) y un testigo siempre limpio de hierbas (T); los abonos verdes se incorporaron a 59 y 90 días después de la siembra (dds). Los resultados mostraron que todos los cultivos se adaptaron al clima y suelo del valle de Tecomán; además, mostraron efecto positivo en invierno sobre el rendimiento y calidad de fruta de melón

cantaloupe. La producción de biomasa fue considerablemente mayor ($P=0.01$) en SF y CR que en CL y MAL; sin embargo, CR mostró mejor adaptación a las condiciones edáficas calcáreas (deficiente en P) de la región, ya que produjo igual cantidad de biomasa con y sin P residual en el suelo. La tasa de crecimiento (cm día^{-1}) fue superior en CR y SF que en el resto de los tratamientos; la tasa de crecimiento, en todos los abonos verdes, resultó sensible a la cantidad y oportunidad de la precipitación. De los abonos verdes, el que ofreció mejores ventajas agronómicas fue la CR.

SUMMARY

In order to study the adaptation and factors affecting growth of several green manure crops, an experiment was conducted during three years in a Typical Orthoustalf mixed alluvial loamy soil. The green manure crops used were: *Crotalaria* (CR), *Clitoria* (CL), forage sorghum (FS), weedy fallow (WF) and a weed clean control (T) soil. The manure crops were grown during the summer and incorporated to the soil 90 days after planting. The results showed that CR, CL and FS were well adapted to the soil, climate and management given; besides, green manures

Recibido 3-95.

showed a positive effect on the yield and quality of cantaloupe grown during the winter.

Biomass production was significantly ($P=0.01$) higher for CR and FS than for the other treatments. Both had good soil cover and weed control, but CR did show better adaptation to the calcareous edaphic conditions (P deficiency) of the region, since it produced the same amount of biomass with and without residual P in the soil. The rate of growth (cm d^{-1}) was higher for CR and SF than for the rest of the treatments. Rate of growth, under all green manures was sensible to the amount and timing of rainfall. Of all green manure crops evaluated, CR seems to be the best option for the soils and climate of the Tecoman Valley

INTRODUCCION

Los sistemas intensivos de manejo de suelo y cultivos se basan en la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes para mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos. Con estos sistemas de manejo la habilidad del suelo para retener el N orgánico residual decrece con la reducción del contenido de materia orgánica del suelo; esto está relacionado con la disminución en la aportación de residuos orgánicos, así como con la acelerada descomposición de éstos por las prácticas de labranza utilizadas. En estas circunstancias, el N aplicado como fertilizante es susceptible a la desnitrificación y lixiviación (Aulakh *et al.*, 1991; Pérez-Zamora *et al.*, 1994). En consecuencia, las prácticas alternativas de producción de residuos orgánicos como abonos verdes se utilizan para reducir la erosión y mejorar la estructura del suelo, así como se orientan a atender situaciones relacionadas con la conservación del ambiente.

La incorporación de abonos verdes influye en la calidad del suelo, el ciclo de los

nutrimentos y los procesos microbiológicos; además, puede contribuir con cantidades significativas de N para los cultivos (McKenney *et al.*, 1993).

La información sobre abonos verdes y su efecto sobre la producción de cultivos y procesos de desnitrificación y mineralización son escasos a nivel mundial (Aulakh *et al.*, 1991; Walters *et al.*, 1992) y aún resultan más escasos a nivel local y regional (Pérez-Zamora, 1994; Pérez-Zamora *et al.*, 1994).

En la región, se ha observado baja eficiencia en el uso de N por tonelada de fruta de melón cantaloupe producida (Pérez-Zamora *et al.*, 1994). Existen evidencias sobre la baja eficiencia del N en cultivos de escarda como maíz, sorgo y melón, así como con la aplicación continuada de fuentes de N en cantidades por arriba de la óptima; en varias regiones de la franja maicera de Estados Unidos esto ha ocasionado contaminación de aguas subterráneas (CAST, 1985; Hallberg, 1986; Keeney, 1986).

En países desarrollados, la contaminación de acuíferos es materia de preocupación para el público y agencias de salud gubernamentales y privadas, dado que no son muy numerosas las fuentes de suministro alternativo de agua para el consumo humano (Beaton y Tisdale, 1969; Hallberg, 1986); sin embargo, en países en desarrollo esta situación, por la insuficiencia de recursos económicos, no ha sido aún considerada dentro de los programas nacionales, de tal manera que esto podría ser más grave en el caso de cultivos altamente costosos e intensivos, como es el caso de la producción de hortalizas en el valle de Tecmán. En esta región, el empleo de fertilizantes en cantidades por arriba de lo requerido por el cultivo es común; además, estas aplicaciones se efectúan en periodos cortos (90 días) de crecimiento de las plantas.

Feth (1966) reporta que acuíferos que contienen carbonatos con frecuencia tienen altas concentraciones de nitratos, y que debido a su geología y poca profundidad de suelo son recursos susceptibles a contaminación, particularmente cuando se desarrollan actividades agrícolas intensivas (Gerhart, 1986; Hallberg, 1986; Keeney, 1982; Keeney y Follet, 1991).

Las mejores prácticas agrícolas para atenuar la contaminación de aguas subterráneas comprenden varias opciones de manejo del suelo y agua, así como estrategias socioeconómicas que incluyen regulaciones de orden legal (Aldrich, 1984; Blackmer, 1986; Keeney, 1986). Sobre esto, la incorporación de abonos verdes y residuos de cosechas son parte de una estrategia más amplia que incluye aplicaciones de fertilizantes múltiples, refinación de recomendaciones de fertilización, uso de cultivos de cobertura, plantas con sistemas radiculares profundos, plantas que posean mayor eficiencia para absorción de N y P, fuentes de fertilizantes orgánicas e inorgánicas de lenta liberación y mejoramiento de prácticas de irrigación.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar agrónomicamente dos leguminosas, una gramínea y maleza espontánea, como abonos verdes mejoradores del suelo.

MATERIALES Y METODOS

Localización del área de estudio

El experimento se condujo en el Campo Experimental Tecomán en Colima, México, localizado a 18°50' de latitud norte y 108° 48' de longitud oeste, y a una altitud 30 m. El suelo en el sitio experimental pertenece a la serie Caleras franco arcillosa, mineralogía de

mezcla aluvial, régimen de temperatura isohipertérmico, Orthostalf típico. El terreno es casi plano (0 a 1.0 %) con profundidad de 0.75 m. El pH del suelo promedia un valor de 7.9 y la concentración de elementos nutritivos (mg kg^{-1}) es como se indica a continuación P=4.5, K=345, Ca=4800, Mg=200, Na=35, Fe=2.7, Zn=0.4, Mn=7.0, Cu=1.3. Los métodos de extracción empleados fueron procedimientos estándar para suelos calcimórficos y descritos ampliamente en la literatura nacional e internacional.

Climatología

El clima de la zona es semi-árido, con precipitación media de 744.1 mm (Cuadro 1). La temperatura media anual es de 26.0 °C; la región se encuentra libre de riesgo de heladas los 365 d (Pérez-Zamora, 1994). Los datos de precipitación se procesaron previamente para el cálculo de análisis frecuenciales de precipitación, probabilidades de lluvia a umbrales de 50, 75 y 90% (Pérez Zamora, 1993). En este trabajo se utilizó la temperatura mínima y media de un período de 14 años, y se efectuó análisis de regresión no lineal para ajustar los datos a una curva (periódica) de Fourier de segundo y primer grado. Se seleccionó este procedimiento porque las curvas periódicas son curvas que oscilan alrededor de un valor central; la temperatura del aire es un buen ejemplo de esto. La forma general de la curva periódica de Fourier es como sigue (Little y Hills, 1978):

$$y = b_0 + b_1 \cos(X) + b_2 \sin(X) + b_3 \cos(2X) + b_4 \sin(2X) + \dots + b_{2n-1} \sin(nX) + b_{2n} \cos(nX)$$

donde y es la temperatura del aire y la variable independiente X es mes ($\pi/6$); esta variable debe reflejar el hecho de que un ciclo completo de temperatura (2π radianes) ocurre cada 12 meses.

Cuadro 1. Precipitación promedio a intervalos de 5 días en Tecomán, Col. Registro de 15 años (1981 a 1994)

Mes	Precipitación						Total
	PEN 1	PEN 2	PEN 3	PEN 4	PEN 5	PEN 6	
	----- mm -----						
Enero	0.8	1.6	5.3	12.5	4.8	10.7	35.7
Febrero	3.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	3.4
Marzo	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Abril	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mayo	0.4	0.9	0.0	0.0	0.0	18.9	20.2
Junio	0.2	3.0	23.5	19.3	17.6	36.2	99.8
Julio	23.0	36.9	25.0	24.6	37.9	12.5	160.0
Agosto	19.4	17.8	22.7	24.0	43.5	21.7	149.2
Septiembre	42.6	9.8	19.7	30.1	35.8	11.4	149.4
Octubre	26.9	11.0	21.0	7.0	8.5	7.6	82.1
Noviembre	3.4	1.2	1.6	0.0	0.2	21.7	28.1
Diciembre	5.8	1.9	3.0	5.3	0.0	0.0	16.0
							744.1

PEN = Intervalo de cinco días

Criterios de selección de los abonos verdes

Los criterios dependieron desde la disponibilidad de semilla a otros más específicos como adaptación previa de las plantas al ambiente local, resistencia a falta de humedad, tasa de crecimiento, sensibilidad a plagas y enfermedades, comportamiento edáfico, grado de competencia con malezas, naturaleza de la especie (leguminosa vs no leguminosa) y sistema de producción prevaleciente en la región.

Establecimiento del experimento

Los abonos verdes se cultivaron durante los veranos de 1992, 1993 y 1994; las leguminosas utilizadas fueron *Clitoria* (CL) y *Crotalaria* (CR), las otras dos especies utilizadas fueron sorgo forrajero Fortuna (SF) y una parcela en la que se permitió el crecimiento natural de las hierbas (MAL) durante el verano; también se incluyó un

tratamiento testigo (T), el cual se mantuvo libre de malezas durante toda la temporada de descanso; esto se efectuó mediante tres pasos de rastra en cada uno de los veranos. Durante el período de crecimiento de los abonos verdes no se aplicaron fertilizantes, insecticidas ni herbicidas; una excepción de esto fue en 1994, ya que se efectuó una aplicación de Fusilade para el control de zacate y dos aplicaciones de insecticida para el control de falso medidor en CL. El suministro de agua fue la lluvia ocurrida durante el temporal (Figura 1).

La preparación del terreno, previa a la siembra, consistió de un barbecho con arado de discos y un paso de rastra. El mismo día de esto último, se sembraron al voleo las semillas en dosis de 30, 32 y 35 kg ha⁻¹ de CR, CL y SF, respectivamente e inmediatamente se taparon con otro paso de rastra. De acuerdo con el tamaño de la semilla y las dosis de siembra, se pretendió obtener al menos una población de 582 500 plantas ha⁻¹. Las

dimensiones de las parcelas, por necesidades operacionales de maquinaria, fueron de 30 m x 100 m.

Observaciones y fechas de incorporación

Dos veces por semana se determinó la altura de planta y se estimó la tasa de crecimiento (cm d^{-1}). Además, se registró cobertura de suelo, grado de competencia de maleza, presencia de plagas y enfermedades y comportamiento de los abonos verdes en la presencia de fósforo residual de fertilizaciones previas. Las mediciones se realizaron en 30 plantas seleccionadas al azar y las observaciones en una superficie de 0.5 m^2 , utilizando aros metálicos. La estimación de biomasa producida se efectuó mediante el conteo y pesado de plantas cosechadas en 0.5 m^2 ; registró el número de plantas, peso fresco y peso seco (en estufa por 24 horas a $60 \text{ }^\circ\text{C}$). Al siguiente de la toma de muestras, se incorporaron los abonos verdes con un paso de arado de disco. Una semana después se dio un primer paso de rastra y 15 días posteriores a esta fecha se efectuó un segundo paso de rastra. Las fechas de incorporación fueron el 1, 28 y 29 de septiembre, que correspondieron a 59, 93 y 91 días después de la siembra (dds) para 1992, 1993 y 1994, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

La presentación de los resultados se hace con base en los criterios seleccionados para evaluar los abonos verdes a las condiciones semi-áridas del valle de Tecomán.

Suelo

La siembra y emergencia de las semillas de abonos verdes no presentó dificultades

operacionales ni técnicas; la emergencia fue superior a 90% y la capacidad de almacenamiento de agua (60 a 70 mm) del perfil del suelo fue suficiente para el crecimiento y desarrollo de las especies durante todo el ciclo; aun durante las etapas (segunda y tercera semanas de agosto) críticas de falta de lluvia, las plantas no mostraron los efectos de la sequía interestival (Figura 1). La cobertura del suelo por CR y SF en etapas tempranas contribuyó a un mantenimiento de humedad en el suelo (observaciones no registradas cuantitativamente); mientras que en los tratamientos donde la cobertura vegetal fue menor (MAL y CL y T) fue común observar, durante varios días, grietas hasta de un cm de espesor y 30 cm de profundidad.

La fertilidad natural del suelo, dada la naturaleza calcárea del sitio (Pérez Zamora, 1993 y 1994), tuvo efecto en SF y maleza de hoja ancha; esto se relacionó con el contenido de P residual que quedó en el terreno por la aplicación de fertilizantes fosfóricos efectuadas en melón cantaloupe durante el invierno, en contraste con aquellas partes del sitio que no recibieron fertilización. En SF, la altura, peso unitario de las plantas (g/planta) y producción total de biomasa fueron considerablemente afectadas por la ausencia de P residual en el suelo; estas diferencias en el estado nutrimental no resultaron estadísticamente significativas para CR y CL.

En los cuadros siguientes se muestran los datos de altura en sorgo forrajero y rendimiento en materia seca de los abonos verdes afectados por el fósforo residual en 1993.

Cuando el contenido de P aprovechable en el suelo era adecuado, la producción de sorgo forrajero fue mayor que la obtenida con

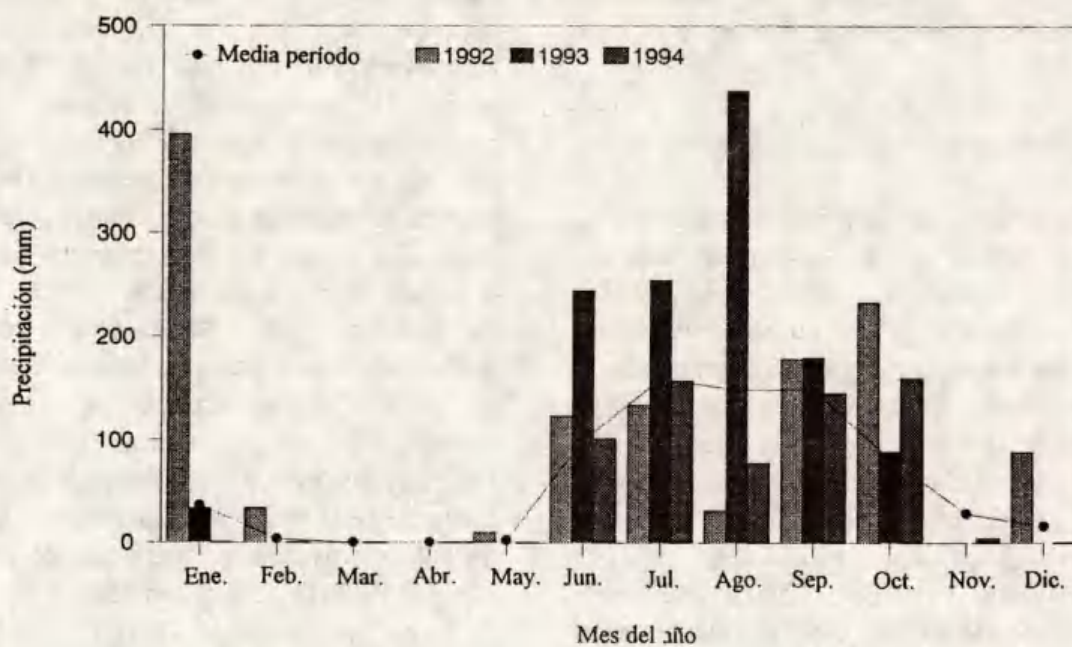


Figura 1. Precipitación mensual de 1992 a 1994, Campo Experimental Tecomán.

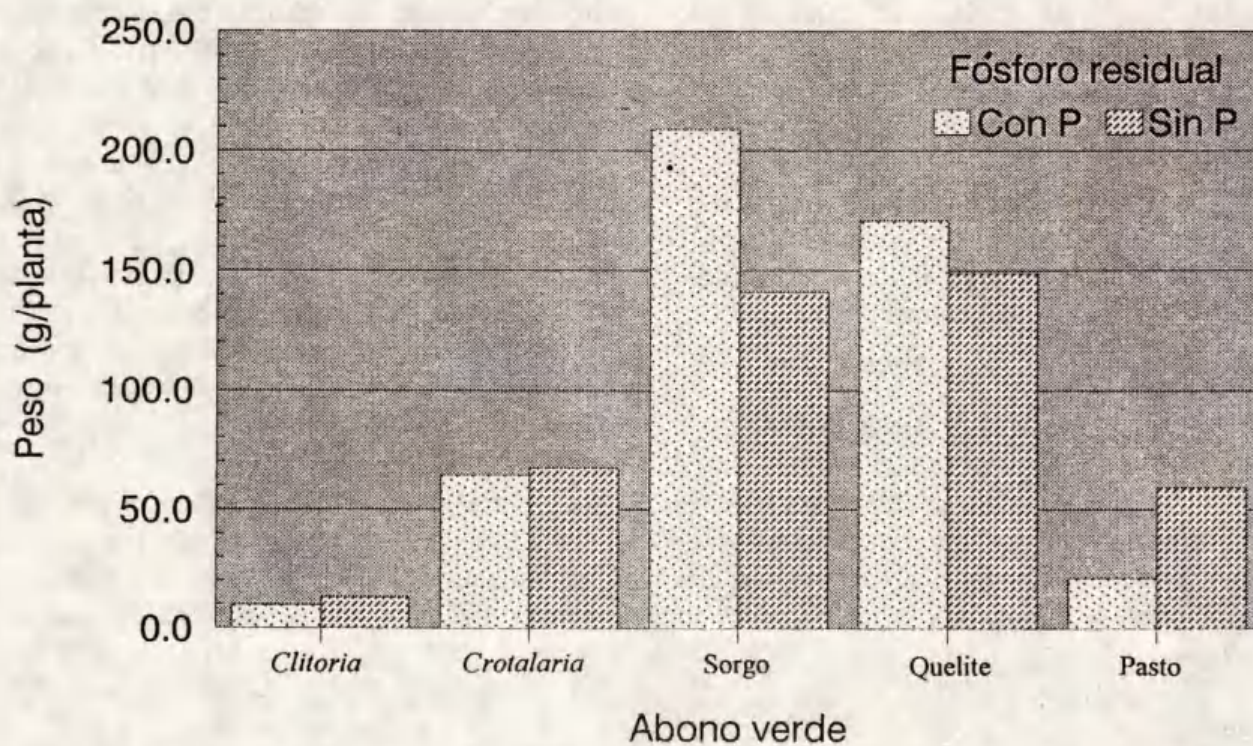


Figura 2. Peso por planta con y sin P residual en el suelo.

	Altura de sorgo forrajero.			
	Días después de la siembra			
	56	63	70	77
	----- m -----			
Con P residual en suelo	1.78	1.90	2.20	2.20
Sin P residual en suelo	1.20	1.58	1.82	1.90

Biomasa (materia seca) incorporada al suelo.		
Tratamiento	Biomasa	
	Con P residual	Sin P residual
	----- t ha ⁻¹ -----	
Maleza	4.58	5.12
Sorgo Forrajero	9.50	6.42
Crotalaria	6.30	6.60
Clitoria	1.84	1.39

MAL y CL; sin embargo, cuando el P fue una limitación para la producción de biomasa de SF se redujo en 32 %; el vigor y grosor de tallo de SF fue menor cuando el P en el suelo no era adecuado. En contraste, la producción de biomasa resultó similar ($P=0.05$) en CR, tanto en sitios con o sin P residual en el suelo. Esto sugiere que dicha especie tiene algún mecanismo que le permite adaptarse a condiciones nutricionales deficientes en suelos calcáreos, ya que esta clase de suelos presenta alta fijación de P, 75 kg P₂O₅ por hectárea, (Pérez Zamora, *et al.*, 1994). En el caso de CL, las diferencias en rendimiento se encuentran enmascaradas por los efectos de población de plantas obtenida en 1993; esta población resultó considerablemente inferior a la registrada en 1992 y 1994, lo cual se asoció con fuerte competencia de malezas.

Otro componente estudiado del efecto del estado nutricional del suelo sobre los abonos verdes fue el peso unitario (g/planta) obtenido con y sin P residual (Figura 2). Con niveles de P aprovechable adecuado en el suelo, el rendimiento unitario resultó 32.4 y 12.8 % superior que sin P residual para SF y

maleza de hoja ancha, respectivamente. En contraste, cuando el P fue deficiente en el suelo, el rendimiento unitario de CR, CL y pastos fue 4.5, 6.4 y 26.0 % superior que el obtenido en sitios donde el P aprovechable era adecuado. Para la estimación del rendimiento unitario las malezas de hoja ancha consideradas fueron quelite (*Amaranthus viridis*) y *Echinochloa colona* para el caso de pastos.

Producción total de biomasa

El rendimiento de materia seca se muestra en el Cuadro 2. El SF y CR produjeron más biomasa que CL y MAL en cada uno de los años estudiados. La máxima producción de biomasa se alcanzó aproximadamente a los 60 a 65 dds para SF, mientras CL y CR continuaban aún su crecimiento vegetativo. Ambas especies, CR y CL, produjeron su máxima producción a los 90 dds (Ordaz *et al.*, 1993). El SF resultó más precoz, sin embargo, fue más sensible a la carencia de P en el suelo; esto contrastó con las leguminosas probadas, ya que éstas no resultaron sensibles a la carencia de P como otras especies de leguminosas probadas previamente, entre las que se encuentran varios cultivares de chicharo gandul y frijol terciopelo.

Cuadro 2. Producción de biomasa base peso seco. Tecomán, Colima

Tratamiento	Biomasa		
	1992	1993	1994
	----- t ha ⁻¹ -----		
Crotalaria	6.45	7.33	11.82
Sorgo forrajero	7.93	9.51	11.99
Pasto	0.00	0.26	0.0
Clitoria	1.14	0.32	4.12
Quelite	0.00	0.39	0.38
Pasto	1.21	1.31	0.0
Maleza			
Quelite	3.01	3.76	3.25
Pasto	0.77	1.10	2.84

El rendimiento de CL resultó seriamente afectado por la competencia de maleza, en especial de pasto, durante 1992 y 1993. Esto se asoció con el lento crecimiento de dicha especie (Figura 3) durante los primeros 25 a 35 dds y afectó la cobertura del suelo y desarrollo de CL. Esta experiencia ha sido observada previamente por Ordaz *et al.* (1993) y Pérez Zamora *et al.* (1994), quienes requirieron efectuar aplicaciones de herbicidas pre y postemergentes para tener una buena población de CL y producción de follaje a los 90 dds. En 1994 se aplicó Fusilade (700 mL de producto en 400 L de agua) para el control de zacate *Echinochloa colona* a los 20 dds; los resultados obtenidos fueron obvios (Cuadro 2) ya que la cobertura del suelo resultó total; la competencia con maleza de hoja ancha resultó ser consistente en 1993 y 1994, sin embargo, no constituyó obstáculo para obtener rendimientos adecuados de CL; resultados similares observaron otros investigadores en cuanto a producción de forraje a los 90 dds y rendimiento de semilla al final de la cosecha (Ordaz *et al.*, 1993).

Por lo que respecta SF y CR, la competencia de maleza no fue problema en ninguno de los años estudiados; en ambas especies se logró rápida cobertura inicial del suelo (20 dds); en las parcelas de SF solo se observó una población (26 000 plantas/ha) insignificante de zacate, mientras que en CR se logró un excelente control de malezas en cada uno de los años en estudio. Este efecto se extendió al ciclo (invierno) subsecuente de melón cantaloupe; las parcelas de esta hortaliza localizadas en terrenos donde se incorporó CR requirieron un deshierbe menos que el resto de los tratamientos de abonos verdes y el T. Este mismo tipo de experiencias reporta Pérez-Zamora (1994).

En el caso del tratamiento de maleza los rendimientos de ambos, hoja ancha y zacate, se incrementaron con los años de estudio; de tal manera que al tercer año la producción total (6.09 t ha⁻¹) se incrementó en 1.61 veces con respecto al año inicial (3.78 t ha⁻¹), sin embargo, se observó mayor incremento de pasto que de maleza de hoja ancha. Esto significó cambio en la composición de maleza con el transcurso del tiempo; el rendimiento relativo fue de 25.0, 29.9 y 89.0% de pasto con relación a maleza de hoja ancha. También se registró un cambio de composición interespecie, ya que la gramínea predominante se constituyó en zacate Johnson en substitución de zacate *Echinochloa*.

Climatología del período

Las especies mostraron adecuada adaptación a las condiciones climáticas de la región; las principales variables climatológicas que se relacionan con los ambientes semi-áridos son la precipitación y la temperatura (Abrol *et al.*, 1994; Pérez Zamora, 1994). Las temperaturas mínimas y máximas registradas durante 1992 a 1994 se encontraron dentro del intervalo observado en el período histórico. Los análisis no lineales, utilizando las series de Fourier, resultaron altamente significativos para las temperaturas mínimas y medias, que son los componentes más importantes de adaptación a plantas en esta región (Cuadro 3). La ecuación de regresión para la predicción de temperatura mínima es la siguiente:

$$y = 18.681 - 1.806514 * \text{Cos}(1 * X) - 3.673024 * \text{Sen}(1 * X) + 0.139621 * \text{Cos}(2 * X) - 0.186195 * \text{Sen}(2 * X)$$

Para la temperatura media la ecuación de regresión es la siguiente:

Cuadro 3. Análisis de regresión de temperaturas mínimas y medias en Tecomán, Colima.

Fuente	G.L.	Temperatura mínima		Temperatura media	
		CME	Significancia	CME	Significancia
Total	131				
Regresión	4	273.3	***	112.4	***
Cos (1*X)	1	215.4	***	86.5	***
Sen (1*X)	1	890.4	***	359.9	***
Cos (2*X)	1	1.3	NS	1.8	NS
Sen (2*X)	1	2.3	NS	1.3	NS
Error	127	1.1		0.5	
R ²		0.89		0.87	

**significativo al 0.01%; NS = no significativo; CME = cuadrado medio del error; G.L. = grados de libertad.

$$y = 26.42 - 1.144665 * \text{Cos} (1*X) - 2.335211 * \text{Sen} (1*X) + 0.1675 * \text{Cos} (2*X) - 0.138695 * \text{Sen} (2*X)$$

En las ecuaciones y es la temperatura (mínima o media) y la variable X=Mes (*pi/6).

Por lo que refiere a precipitación durante el ciclo de crecimiento de las plantas, como era de esperar, resultó errática en cantidad y distribución (Figura 1 y Cuadro 4). La cantidad de lluvia ocurrida no mostró efecto limitativo sobre la producción total de biomasa, ya que en 1992 se tuvo una producción aceptable a la fecha de incorporación (59 días después de la siembra) de los abonos verdes; en 1993 y 1994 la producción de biomasa se incrementó al incorporar los abonos a los 90 dds en el caso de CR y CL, y en esta última especie con adecuado control de maleza.

De la información del Cuadro 4, se infiere que aun con precipitaciones escasas (165.1 mm) durante el ciclo de crecimiento es posible obtener producción de biomasa tanto en cantidad como adecuada cobertura e incorporación de materia orgánica (incremento

de 1%) del suelo como lo reportaron Pérez *et al.* (1994).

Tasa de crecimiento

Además de precipitación y temperatura adecuadas, las especies de abonos verdes probadas también requieren buena adaptación edáfica (suelo calcáreo) y tasas de crecimiento rápidas (Figuras 3 y 4). La velocidad de crecimiento (cm d⁻¹) de SF y CR fue mayor que en CL y MAL; sin embargo, en todas las especies dicha tasa de crecimiento guardó estrecha relación con la distribución y cantidad de la precipitación (Figuras 3 y 4, para los años de 1993 y 1994, respectivamente).

En 1993, las tasas de crecimiento fueron de 7 y 6 cm d⁻¹ en SF y CR, respectivamente, mientras que en 1994, se registraron tasas hasta de 12.0 y 8.7 cm d⁻¹ en SF y CR, respectivamente. Se nota que las tasas de crecimiento mostraron una tendencia bimodal que siguió también la tendencia de la precipitación; esta bimodalidad se observó a los 25 a 30 días y a los 50 a 55 días dds en el caso de CR y SF; en contraste, CL mostró la

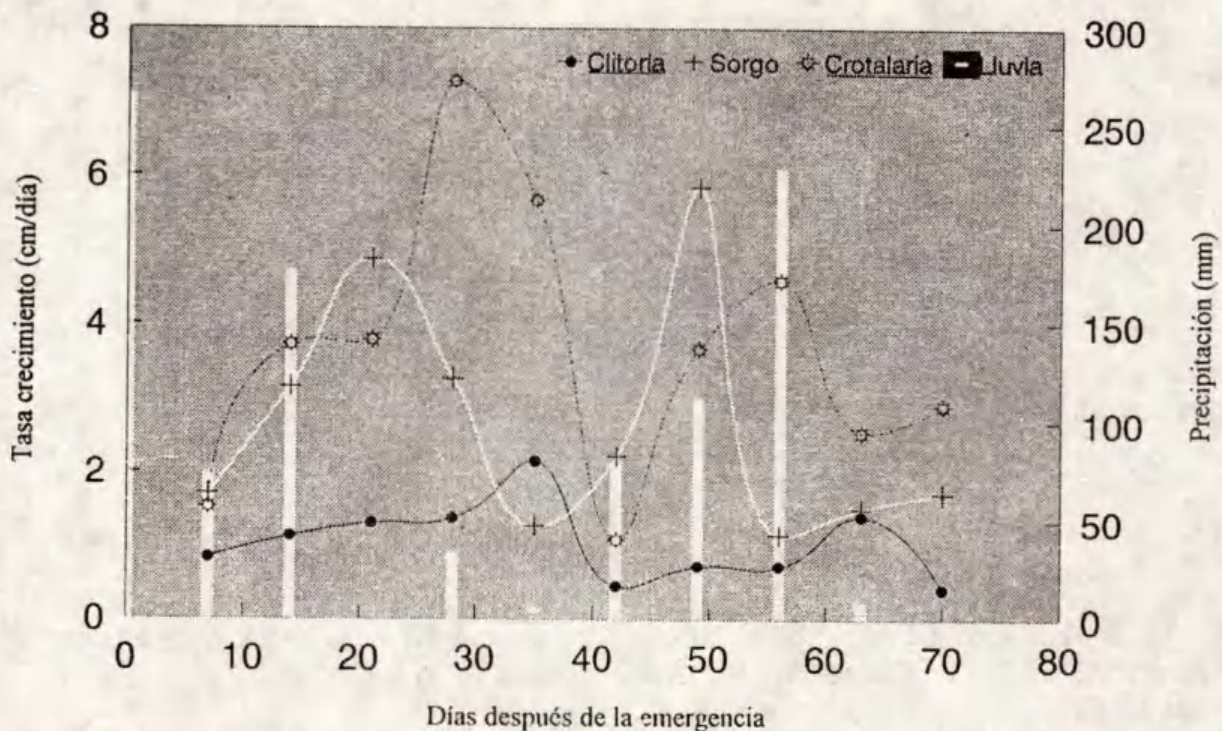


Figura 3. Tasa de crecimiento de abonos verdes, verano de 1993. Tecomán, Colima.

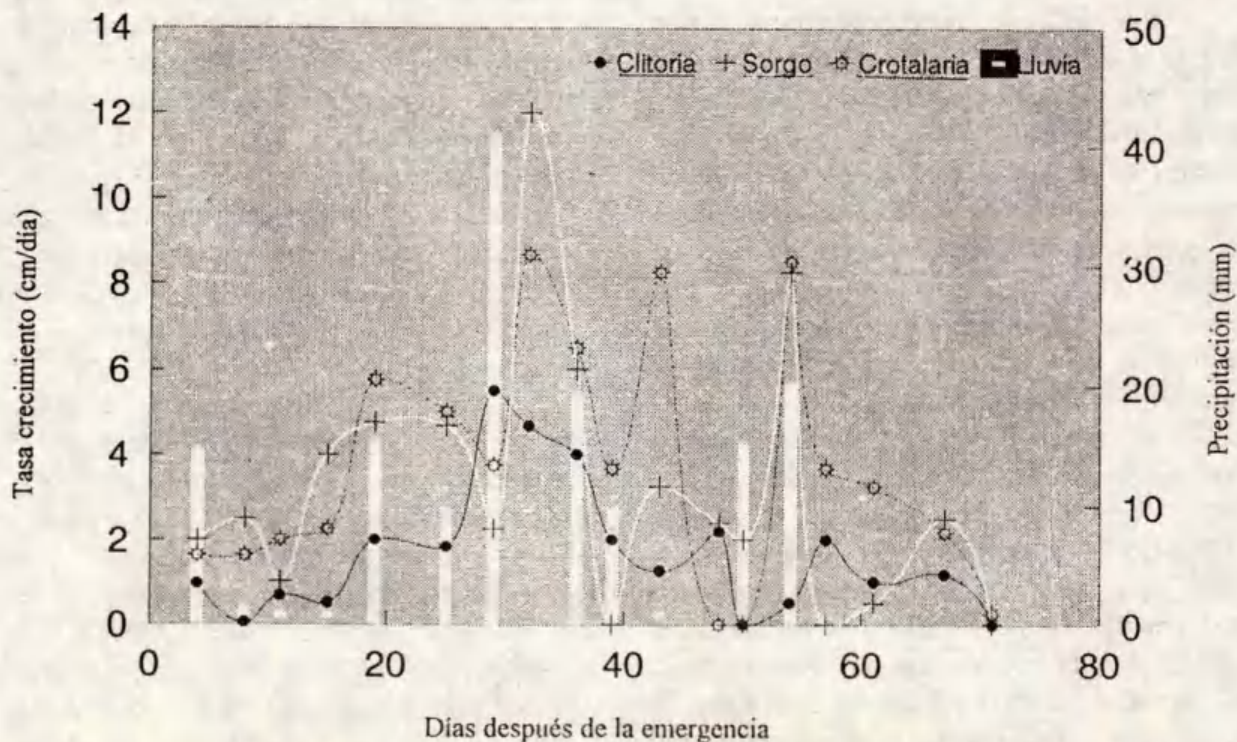


Figura 4. Tasa de crecimiento de abonos verdes, verano de 1994. Tecomán, Colima

Cuadro 4 . Cantidad de precipitación ocurrida durante el ciclo de crecimiento de los abonos verdes.

Período	Precipitación		
	1992	1993	1994
	----- mm -----		
1) 15 días antes siembra	123.8	207.9	49.6
2) Siembra a incorporación			
Junio	0.0	37.5(s)	30.1(s)
Julio	134.3(s)	255.3	80.1
Agosto	30.8 (i)	437.1	67.7
Septiembre	0.0	180.2(i)	77.8(i)
Subtotal ciclo	165.1	910.1	255.7
Total (1) + (2)	288.9	1118.0	305.3

(s)= siembra; (i)= incorporación del abono

bimodalidad de crecimiento a los 35 a 40 dds y los 60 65 dds, pero de menor magnitud que CR y SF. En maleza no se registró velocidad de crecimiento por la naturaleza de la composición de especies y distribución aleatoria en el terreno, esta condición dificultó efectuar registros. Las alturas finales de la maleza (a la incorporación) fueron de aproximadamente 1.20 m.

Las tasas de crecimiento durante los primeros 20 a 25 dds resultaron más consistentes en SF y CR que en CL; este período coincide con la etapa crítica de competencia de maleza con los cultivos en las principales zonas productoras de México (Ordaz *et al.*, 1993). Esta consistencia en las etapas iniciales permitió tener una mejor cobertura del suelo en SF y CR. La curva de crecimiento acumulativa (altura) resultó, como era de esperar, del tipo logístico, sin embargo, resultó de poca utilidad ya que no se apreciaron relaciones con precipitación ni producción de biomasa.

Plagas y enfermedades

La evaluación resultaría incompleta sin considerar la relación de las plantas con las

plagas y enfermedades existentes en la región. Los abonos verdes fueron poco afectados por enfermedades, y su efecto, en el caso de SF, no fue de consideración económica; en lo que respecta a insectos, MAL y CR no tuvieron problemas en ninguno de los años; sin embargo, SF mostró algo (5%) de ataque de gusano cogollero que no requirió tratamiento químico. Además, también se notó presencia de salivazo o ninfas de mosca pinta; el conteo de ninfas en 1993 fue 190 000 ninfas/ha; tampoco se consideró que afectara económicamente al cultivo de SF. En CR no se observó ninfas de mosca pinta, mientras que en los pastos de CL y MAL los conteos arrojaron cifras de 144 000 y 108 000 ninfas/ha, respectivamente.

Rendimiento de melón

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos de fruta de exportación y nacional para los tratamientos en estudio. Es de destacar que riego por goteo en combinación con acolchado de suelo produjo un efecto favorable en la producción y calidad de fruta con respecto a los resultados medios

obtenidos en la región; estos son del orden de 20.0 t/ha (FIRA, 1990; INIFAP, 1993).

Lo anterior muestra el efecto benéfico de la tecnología de riego y acolchado cuando se combina con la incorporación de abonos verdes. Los efectos positivos en la producción se relacionaron con una mejora física y química del terreno. Se tomó en cuenta un incremento en la retención de humedad debido al incremento en materia orgánica (2%), cuando se incorporó abonos verdes con respecto al testigo (1.0 %); el incremento en retención de humedad, debido a la materia orgánica, fue del orden de 20% con respecto al T. En cuanto al efecto químico sobre el rendimiento en los tratamientos estudiados, éste se relacionó con las propiedades que la materia orgánica imparte al suelo; entre éstas se tienen las siguientes: 1) proveer abundantes cargas negativas en humus que retienen cationes nutritivos; 2) estabilizar los micronutrientes del suelo, que de otra forma no estarían disponibles en cantidades suficientes para las plantas; 3) liberar Fe como resultado de la actividad microbiana en la descomposición de abonos y 4) ser fuente de nutrientes mayores, particularmente N, P y S (Pérez-Zamora, 1979; WFH, 1975).

Calidad de Fruta

La cantidad de fruta de exportación fue de 4372, 3978, 3769 y 2709 cajas/ha para CR,

Cuadro 5. Rendimiento de fruta de melón Laguna con y sin abonos verdes incorporados al suelo.

	Rendimiento		
	Exportación	Nacional	Total
	----- ton/ha -----		
1. Testigo	32.85	3.88	46.71
2. Sorgo	45.01	11.15	56.16
3. Clitoria	45.95	14.86	60.81
4. Crotalaria	48.94	14.15	63.09

CL, SF, y T, respectivamente. El tamaño predominante fue de 9 y 12 para abonos verdes y de 12 y 15 para el T. Sin embargo, es de destacar que un buen porcentaje (17%) de fruta grande (6) se obtuvo con la incorporación de CR al suelo. Independientemente de las diferencias obtenidas entre tratamientos, la producción es muy aceptable para la región, ya que en promedio se obtiene de 600 a 700 cajas de exportación por hectárea (FIRA, 1990 ; Orozco-Santos *et al.*, 1993).

CONCLUSIONES

1. Los abonos verdes evaluados mostraron buena adaptación a las condiciones climatológicas, edáficas, plagas y enfermedades prevalentes en la región de Tecomán, Colima.
2. *Clitoria* y *Crotalaria* respondieron bien a condiciones de suficiencia e insuficiencia de P en los suelos calcáreos; en contraste, SF fue severamente afectado por niveles de insuficiencia de P. Esto sugirió que las dos primeras especies poseen mecanismos que le permiten adaptarse a condiciones limitativas de P en el suelo.
3. Las mayores tasas de crecimiento, de hasta 7 a 12 cm d⁻¹, se observaron en CR y SF, sin embargo, dichas tasas resultaron dependientes de la cantidad y oportunidad de la precipitación.
4. CR y SF produjeron la mayor cantidad de biomasa en cada uno de los años en estudio, así como la mejor cobertura de suelo y mejor competencia contra las malezas.
5. De las especies probadas, la que ofrece mejores ventajas agronómicas es CR: aceptable adaptación a falta o exceso de

agua, competencia contra malezas, no es sensible a falta de P en el suelo, alta producción de biomasa y facilidad de incorporación.

6. La incorporación de abonos verdes incrementó la producción en cantidad y calidad de fruta de melón cantaloupe.

LITERATURA CITADA

- ABROL, I.P., J.C. KATYAL, and S.M. VIRMANI. 1994. Rainwater management for sustainable rainfed agricultural production in the tropics. pp. 59-72. *In: Soil Technology for Sustainable Agriculture Symposium: 15th World Congress of Soil Science Vol. 7a. Acapulco, Mexico.*
- ALDRICH, S.R. 1984. Nitrogen management to minimize adverse effects on the environment. pp 663-676. *In: R.D. Hauck (ed.) Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.*
- AULAKH, M.S., J.W. DORAN, D.T. WALTERS, A.R. MOSIER, and D.D. FRANCIS. 1991. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1020-1025.
- BEATON, J.D., and S.L. TISDALE. 1969. Potential plant nutrient consumption in North America. *Tech. Bull. 16. The Sulphur Inst., Washington, D.C., USA.*
- BLACKMER, A.M. 1986. Potential yield response of corn to treatments that conserve fertilizer nitrogen in soils. *Agron. J.* 78:571-575.
- COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (CAST). 1985. Agricultural and groundwater quality. Rep. 103. CAST. Ames, IA, USA.
- FETH, J.H. 1966. Nitrogen compounds in natural water. A review. *Water Resour. Res.* 2:41-58.
- FIRA. 1990. El cultivo de melón en Colima. Mimeografiado. Agencia FIRA en el estado de Colima, Colima, México.
- GERHART, J.M. 1986. Groundwater recharge and its effect on nitrate concentration beneath a manure field in Pennsylvania. *Groundwater* 24:483-489.
- INIFAP. 1993. Proyecto de Investigación: Generación y optimización de tecnología para producir melón en Colima. Mimeografiado. INIFAP, SARH, México.
- HALLBERG, G.R. 1986. From hoes to herbicides. Agricultural and groundwater quality. *J. Soil Water Conserv.* 41:357-364.
- KEENEY, D.R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. pp. 605-649. *In: F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in agricultural soils. Agronomy 22. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.*
- KEENEY, D.R. 1986. Source of nitrate to groundwater. *Crit. Rev. Environ. Control.* 16:257-304.
- KEENEY, D.R., and R. FOLLET. 1991. Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. *Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.*
- LITTLE, M.T., and F.J. HILLS. 1978. Statistical methods in agricultural research. University of California, Davis, USA.
- MCKEENEY, D.J., S.W. WANG, C.F. DRURY, and W.I. FINDLAY. 1993. Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass and corn residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1013-1020.
- ORDAZ O., E., O. LOPEZ A. O. PEREZ-ZAMORA y A. PERALTA M. 1993. Clitoria. Leguminosa forrajera para el estado de Colima. Folleto para productores No. 3. CIAPAC-INIFAP-SARH, México.
- OROZCO SANTOS, M., O. LOPEZ-ARRIAGA y O. PEREZ-ZAMORA. 1993. Avances de investigación en melón. *In: Generación y optimización de tecnología para producir melón en Colima. Mimeografiado. INIFAP, SARH, México.*
- PEREZ-ZAMORA, O. 1979. Effects of nitrogen and phosphorus additions on the growth and composition of corn (*Zea mays* L.) plants grown on a calcareous soil. Ph. D. Thesis. University of California, Davis, USA.
- PEREZ-ZAMORA, O. 1993. Estudio preliminar de la precipitación pluvial mensual en el estado de Colima. Folleto Técnico No. 1. INIFAP-SARH, México.
- PEREZ-ZAMORA, O. 1994. Response of cantaloupe hybrid to soil amended with legume and forage sorghum. *Agronomy Abstract 1994. Annual Meetings American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. November 1994. Seattle, Washington. EEUU.*
- PEREZ-ZAMORA, O. O. LOPEZ-ARRIAGA, and M. OROZCO-SANTOS. 1994. Green manure use for muskmelon (*Cucumis melo*) production in Colima Mexico. *In: Symposium Fertilizer Technology its Efficient Use for Crop Production. Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.*
- WALTERS, D.T., M.S. AULAKH, and J.W. DORAN. 1992. Effects of soil aeration, legume residue, and soil texture on transformation of macro and micronutrients in soils. *Soil Sci.* 153:100-107.
- WHF (Western fertilizer handbook). 1975. California Fertilization Association. Sacramento, California, USA.

EFFECTO DE LA INCORPORACION DE ABONOS VERDES EN LA PRODUCCION DE MELON EN COLIMA

Green Manures and Yield Response of Muskmelon in Colima

Octavio Pérez Zamora, Oscar López Arriaga y
Mario Orozco Santos

Apartado Postal 88, 28100 Tecomán, Colima

Palabras clave: Acolchado, Melón cantaloupe, *Cucumis melo* L.

Index words: Plastic mulching, Melon cantaloupe, *Cucumis melo* L.

RESUMEN

La utilización de acolchado plástico al suelo, riego por goteo y cantidades considerables de fertilizantes son componentes claves del sistema de producción en Colima; sin embargo, el uso de esta tecnología no favorece totalmente la producción y la eficiencia en el uso del N. En la actualidad, el uso de abonos verdes es una fuente alterna de fertilización en la agricultura, sobre la cual no existe referencia de aplicación en el estado. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de abonos verdes incorporados en verano sobre la producción de melón cantaloupe de invierno.

Recibido 9-94.

Los tratamientos de abono verde en estudio fueron *Crotalaria* (CR), *Clitoria* (CL), sorgo forrajero Fortuna (SF), maleza (MAL) y un testigo (T) sin incorporación de abono verde. Cada tratamiento se repitió cuatro veces en arreglo experimental de bloques al azar. El cultivar utilizado fue el híbrido Laguna, el cual se sembró a una distancia de 0.2 m entre plantas y 1.78 m entre hileras. El riego se suministró por goteo, con un flujo de 2.3 L h⁻¹ a una tensión de 0.5 atm. El uso de abonos verdes mejoró la eficiencia de uso del N t⁻¹ de fruta cosechada con respecto al testigo. Las eficiencias de fertilización fueron de 3.99, 4.14, 4.48, 5.34 y 5.39 kg de N t⁻¹ para CR, CL, SF, MAL y T, respectivamente. Los rendimientos totales (exportación + nacional) obtenidos fueron de 63, 57, 56, 41 y 47 t ha⁻¹ para CR, CL, SF, MAL y T, respectivamente; CR produjo 1754 cajas bruce ha⁻¹, con calidad de exportación, que resultaron estadísticamente (P= 0.01) superiores al resto de los tratamientos; le siguió SF y CL con 1578 y 1523 cajas, respectivamente; los rendimientos más bajos se obtuvieron con MAL (1165) y (1190). El efecto benéfico de los abonos

verdes se relacionó con la utilización de plásticos y el riego por goteo.

SUMMARY

The use of plastic mulching, drip irrigation and large amounts of fertilizers are key components in the production system in Colima. However, the use of this technology is not totally reflected in crop yield nor in the efficiency of N use. Although the incorporation of green manures to the soil is an alternate source of N, this practice has not been tested in Colima for the production of cantaloupe or any other crops. The objective of this investigation was to study the effects of green manure crops grown and then incorporated to the soil during the summer on the quality and yield of muskmelon grown in the winter. Treatments consisted of *Crotalaria* (CR), *Clitoria* (CL), forage sorghum (FS), fallow weeds (FW) and the control (T) without green manure. The experimental design used was a randomized complete blocks with four reps. Cantaloupe cv. Laguna was seeded in holes of plastic mulches at 0.2 m between plants and 1.78 m between rows. Water was applied through drip irrigation (357 mm) at 2.3 L h⁻¹ and a soil tension of 0.5 atm. The use of green manure improved the efficiency of N use per ton of fruit. The efficiencies were 3.99, 4.14, 4.48, 5.34, and 5.39 kg of N per ton of fruit for CR, CL, SF, and T, respectively. Besides, green manure also had beneficial effects on fruit quality for export. *Crotalaria* plots yielded 1754 boxes per hectare followed by FS and CL with 1578 and 1523, respectively, and T with 1190 boxes of fruit. The lowest yields corresponded to FW with 1165 and 1190 boxes. The beneficial affects of green manure were related to a physical and

chemical soil improvement, as well as to the use of plastic mulching and drip irrigation.

INTRODUCCION

La producción de melón en Colima se caracteriza por su alto grado de tecnificación con respecto al resto de las zonas productoras del país; sin embargo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados no se basa en recomendaciones que tomen en cuenta el clima, la clase de suelo, el nivel de manejo, la demanda del cultivo, ni la relación que guarda el N con otros elementos, como son el P y el K. En estas circunstancias, el sistema de cultivo depende de cantidades considerables de fertilizantes inorgánicos para mantener o incrementar la producción (Pérez-Zamora, 1993). Lo que puede estar sucediendo, en el clima semi-árido de la región, con este sistema de producción de melón es que la habilidad del suelo para retener N disminuya con la declinación en el contenido de materia orgánica; esto por no incorporar los residuos de cosechas y por un proceso acelerado de descomposición de dichos residuos (Aulakh *et al.*, 1991; McKenney *et al.*, 1993; Walters *et al.*, 1992).

El melón cantaloupe requiere cantidades considerables de N (más de 400 kg N ha⁻¹) para producir suficiente fruta con calidad de exportación. La mayor parte de dichos requerimientos se cubren con fertilizantes inorgánicos, sin embargo, en la actualidad el uso de abonos verdes es una fuente alterna de fertilización utilizada en la agricultura (Pérez-Zamora, 1994; Pérez-Zamora *et al.*, 1994).

Antes del uso masivo de los fertilizantes inorgánicos y el descubrimiento de la fijación del N atmosférico, el uso de

fertilizantes orgánicos era una práctica común en el siglo pasado (Tisdale y Nelson, 1982; Wilfred *et al.*, 1991). De esta forma, la aplicación de grandes cantidades de estiércoles, el uso de rotaciones de cultivo y la incorporación de mejoradores del suelo como abonos verdes y otras prácticas agronómicas, están sustentados por trabajos de muchos años como los de la Estación Experimental de Rothamsted en Inglaterra y Cotaxtla, México (Kelly, 1990; Moreno *et al.*, 1987). Los antecedentes sobre esta clase de estudios datan de mucho tiempo atrás; entre estos se encuentran los trabajos de Von Liebig en 1872 (Gabriel y Fogel, 1955; Russell, 1961), quien observó que las cantidades de P y K extraídas variaban con las cantidades de abonos recibidos años atrás. Los suelos utilizados por Von Liebig fueron los de la famosa estación experimental de Rothamsted, cuya historia de fertilización se conocía ya por un periodo de 30 años (Anderson, 1960).

Existen experiencias positivas con la producción de melón cantaloupe o redado (*Cucumis melo* L.), mediante el uso de trigo y leguminosas en el invierno, solos o en combinación con estiércoles animales, cuando se utiliza riego por goteo y acolchado de suelos (Bhella y Wilcox, 1986; Loy y Wells, 1975; Schale y Sheldrake, 1965; Shmuelli y Goldberg, 1971; Waggoner *et al.*, 1960).

Wilfred *et al.* (1991) obtuvieron excelentes resultados en la producción de melón, mediante el uso de abonos orgánicos e inorgánicos y con la utilización de abonos verdes, en Kansas, EU. La producción que obtuvieron fue de 97 t ha⁻¹ con el tratamiento al suelo de alfalfa + estiércol; esta producción resultó similar a la obtenida con el tratamiento de fertilización inorgánica de 135 kg N ha⁻¹.

Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Bhella y Wilcox (1986). Dichos autores reportan también la producción de biomasa de *Medicago sativa*, *Vicia vellosa*, *Pisum sativum* y *Triticum aestivum* de invierno, la cual fue de 2.8, 5.6, 3.2 y 4.9 t ha⁻¹, respectivamente. La concentración de N para las especies mencionadas fue de 3.8, 4.1, 3.3 y 1.6%, respectivamente.

Los problemas encontrados por Wilfred *et al.* (1991) para la producción de hortalizas, cuando utilizaron estiércoles, fueron semejantes a los reportados por Kelly (1990); estos problemas (aumento de salinidad y dificultades de incorporación), pueden afectar a los incrementos de producción. En contraste, el uso de leguminosas en el invierno y su incorporación previa al establecimiento del melón, parece ser aceptable para los productores, en lugar de la rotación tradicional de 3 a 4 años con leguminosas (Wilfred *et al.*, 1991).

En el estado de Colima se siembran aproximadamente 3000 ha con melón, de las cuales aproximadamente 1200 ha se establecen con riego por goteo y una parte con acolchado plástico al suelo (15 %). Sin embargo, la superficie que utiliza estas prácticas tiende a incrementarse, debido a las ventajas mostradas y a las políticas sectoriales de estimular el uso de nuevas tecnologías y mejorar la eficiencia de uso de agua (FIRA, 1991; Orozco-Santos *et al.*, 1993). El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de varios abonos verdes (dos leguminosas), una gramínea y una maleza espontánea, en la producción de melón cantaloupe o redado. Las especies de maleza fueron quelites (*Amaranthus* sp.), zacates Johnson y de agua (*Sorghum halapense* y *Echinochloa colona*, respectivamente).

MATERIALES Y METODOS

El estudio se estableció en terrenos del Campo Experimental Tecomán, dependiente del INIFAP, el cual se ubica a 18° 50' de latitud N y a 108° 48' de longitud W; la altura sobre el nivel del mar es de 30 m. El suelo utilizado es un Luvisol ródico (FAO-UNESCO, 1973), caracterizado por alto contenido de carbonatos (33%); deficiente en P, Zn, Fe y Mn; pobre en materia orgánica (0.99 %); porcentaje de saturación de bases de 100 %; pH de 7.9; profundidad de 75 cm; textura franca y franca arcillosa a 0 a 30 y 30 a 60 cm, respectivamente; plano (1% de pendiente); capacidad de retención de humedad aprovechable de 84 mm. El clima de la zona es semiárido (Pérez-Zamora, 1993).

Previo al establecimiento de melón, el terreno estuvo ocupado durante dos veranos (1992 y 1993) con abonos verdes; éstos se incorporaron dos meses antes de establecer al melón. Los abonos verdes fueron *Crotalaria intermedia* (CR), *Clitoria ternatea* (CL), sorgo forrajero Fortuna (SF), maleza de hoja ancha y angosta (MAL) y un testigo (T) sin abono verde; la maleza fue espontánea y consistió de poblaciones de quelite y zacates Johnson y de agua. Las cantidades de materia seca incorporadas fueron: 2.20, 7.92, 7.33, y 4.32 t ha⁻¹ de CL, SF, CR, y MAL, respectivamente.

El cultivar de melón empleado fue el híbrido Laguna; se depositó una semilla, cada 0.2 m, en el agujero hecho en el plástico de polietileno colocado sobre la cama; el espaciado entre camas fue de 1.78 m y el número de éstas fue de 56 por hectárea, por lo que la población de melón fue de 28 000 plantas ha⁻¹. Todos los tratamientos en estudio recibieron fertilización inorgánica; ésta

fertilización fue de 250-150-280 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente, la cual se fraccionó en basal y nueve aplicaciones subsecuentes (de N y K) en el agua de riego. La fertilización basal consistió de 100-150-150 kg de N, P y K, respectivamente; para el control de insectos que dañan la semilla y la plántula de melón durante los primeros 10 días de emergencia, la fertilización basal se mezcló con 25 kg de Furadán 2.5%.

La cantidad de N a aplicar en cada uno de los tratamientos del experimento se determinó de acuerdo con la siguiente expresión:

Cantidad de kg de N ha⁻¹ = requerimiento del cultivo - (N-NO₃ residual del suelo + N de la materia orgánica + N del agua de riego).

El requerimiento de N del cultivo se estableció con base en una meta de producción de 67.2 t de fruta de melón ha⁻¹ y una eficiencia de uso de 3.2 kg N t⁻¹ de fruta. Las determinaciones del requerimiento de P y K se basaron en análisis químicos de suelos.

La aplicación del riego fue por goteo; se inició en la siembra (28 de enero de 1994), y continuó por 90 días después de la siembra (dds). La aplicación de agua se hizo a 0.3 atm de tensión de humedad del suelo; la lámina de riego total aplicada fue de 357 mm, la cual se estimó previamente al determinar la evapotranspiración potencial del cultivo, la necesidad de riego bruta y el requerimiento adicional para lavado de sales. La conductividad eléctrica y N-NO₃, así como la concentración de Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, Cl y SO₄, en me/L se evaluó semanalmente en el agua de riego extraída del pozo. Los valores medios obtenidos fueron los siguientes: pH=7.92, CE=1.32 dS m⁻¹, sólidos totales

disueltos=0.65 g L⁻¹; los valores obtenidos para nitratos, nitritos y CO₂ fueron de 4.3, 1.32 y 88 mg L⁻¹, respectivamente; la concentración de cationes solubles fue de 12, 1 y 0.6 me L⁻¹, para Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺, y la de K⁺ resultó no detectable; no se detectó CO₃ en el agua, mientras que el resto de aniones tuvo un valor de 5, 2 y 7 me L⁻¹ para HCO₃⁻, Cl⁻, y SO₄⁻², respectivamente.

La cosecha se inició 65 dds, se realizaron 13 cortes de melón, los cuales se clasificaron en calidad exportación, nacional y "pachanga"; además, la fruta de exportación se calificó por tamaño: 6, 9, 12, 15, 18, 23 y 30 melones caja⁻¹, de acuerdo con los procedimientos estándares del mercado internacional. El peso promedio de las cajas de exportación fue de 18.0 a 18.5 kg.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de melón.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos de fruta de exportación y nacional para los tratamientos en estudio. En primer lugar, es de destacar que riego por goteo en combinación con acolchado de suelo tuvo un efecto favorable en la producción y calidad de fruta con respecto a los resultados medios obtenidos en la región (sin acolchado de suelo); estos son del orden de 20 t ha⁻¹ (FIRA, 1991; INIFAP, 1993). Por otra parte, también es de notar que las metas (63 t de fruta ha⁻¹) de producción preestablecidas se lograron cuando se incorporó CR como abono verde al suelo; dicho rendimiento resultó estadísticamente (P = 0.05) superior al resto de los tratamientos. La producción total de fruta de melón para CL y SF resultó sin diferencias (P=0.05) estadísticas entre estos

Cuadro 1. Rendimiento de fruta de melón Laguna con y sin abonos verdes incorporados al suelo.

Tratamiento	Exportación	Nacional	Total
	----- ton ha ⁻¹ -----		
Testigo	21.6	25.9	47.5
Sorgo	40.7	17.7	57.0
Clitoria	36.1	21.2	57.4
Crotalaria	44.6	18.4	63.0
Maleza	25.0	16.7	41.7
Tukey ^{0.05}	4.5	3.1	4.7
Tukey ^{0.01}	5.7	3.9	6.0

tratamientos; los rendimientos fueron de 57.4 y 57.0 t ha⁻¹, respectivamente. Los rendimientos más bajos se obtuvieron con T (47.5) y MAL (41.7 t ha⁻¹). Al nivel de significancia de P = 0.01, la producción de melón total fue estadísticamente igual entre CR, CL y SF; de la misma manera, la producción fue estadísticamente igual para MAL y T (P = 0.01).

Lo anterior, muestra el efecto benéfico de la tecnología de riego y acolchado cuando se combina con la incorporación de abonos verdes en el verano. Los efectos positivos en la producción probablemente se relacionaron con una mejora física y química del terreno. En el primer caso, se tomó en cuenta un incremento en la retención de humedad debido al aumento en materia orgánica (2 %), cuando se incorporaron abonos verdes con respecto al testigo (1.0 %). En cuanto a las propiedades químicas que expliquen la diferencia en rendimiento entre los tratamientos estudiados, éstas se relacionaron con las propiedades que la materia orgánica imparte al suelo; entre éstas se cuentan las siguientes: 1) proveer abundantes cargas negativas en humus que retienen cationes nutritivos; 2) estabilizar los micronutrientes del suelo, que de otra forma no estarían disponibles en cantidades suficientes para las plantas; 3) liberar Fe como

resultado de la actividad microbiana en la descomposición de abonos y 4) ser fuente de nutrimentos mayores, particularmente N, P y S (Pérez-Zamora, 1979; WFH, 1975).

Eficiencia del uso de N.

La eficiencia de uso de N es muy baja en la región melonera de Colima (12.6 kg N t⁻¹ de fruta). En el presente trabajo, dicha eficiencia se mejoró considerablemente mediante el uso de abonos verdes y el método de cálculo de los requerimientos nutricionales y la meta de producción preestablecida. De esta manera, el T mostró una eficiencia de 5.26 kg N t⁻¹; sin embargo, cuando se incorporaron abonos verdes, la eficiencia se incrementó aún más; los valores obtenidos con los abonos fueron de 4.38, 4.36, 3.96 y 5.98 kg N t⁻¹ para SF, CL, CR y MAL, respectivamente. Estas eficiencias aún difieren de las reportadas en la literatura (3.2 kg N t⁻¹) para explotaciones altamente tecnificadas en California; sin embargo, representan una aportación substancial y proveen alternativas para los productores de la región, que de esta manera pueden planear y optimizar el uso de los recursos nutricionales del cultivo altamente insumista de la región.

El efecto benéfico de los abonos verdes se relaciona con la interacción de N con otros elementos, en especial con la absorción de P (Pérez-Zamora, 1979), al producirse un efecto estimulativo en la asimilación de ambos elementos, lo cual es de singular importancia dada la naturaleza calcárea y los bajos niveles de P asimilable de los suelos donde se cultiva el melón en Colima. En el estado, aproximadamente dos terceras partes de los suelos donde se cultiva el melón son suelos de naturaleza alcalina, pobres en P y micronutrimentos (Pérez-Zamora, 1993).

Cuando el P es limitativo (no suficiente en la fertilización basal), la producción y calidad de fruta se reduce en 60% (Pérez-Zamora, 1994). También se considera que los abonos verdes contribuyeron a mejorar la eficiencia de producción, al propiciar condiciones más favorables para la asimilación de Fe, Zn y Mn; esto último se relaciona con el efecto quelatante que la materia orgánica ejerce sobre dichos micronutrimentos, haciéndolos más asimilables para las plantas (WFH, 1975).

Calidad de fruta.

La cantidad de fruta de exportación fue de 1753, 1524, 1578, 1165 y 1190 cajas ha⁻¹ para CR, CL, SF, MAL y T, respectivamente (Cuadro 2). El rendimiento de fruta con CR, al nivel de P=0.05 fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos, seguido por SF y CL que no mostraron diferencias entre sí. El T y MAL resultaron estadísticamente iguales, con los rendimientos de fruta con calidad de exportación más bajos. El tamaño predominante fue de 9 y 12 melones caja⁻¹ para abonos verdes y de 12 y 15 melones caja⁻¹ para el T. Sin embargo, es de destacar que un buen porcentaje (17%) de fruta grande (Tamaño 6) se obtuvo con la incorporación de CR al suelo (Figura 1). Independientemente de las

Cuadro 2. Número de cajas (cajas ha⁻¹) de melón Laguna obtenidos con y sin abonos verdes incorporados al suelo.

Tratamiento	Exportación Nacional Total		
	----- Cajas ha ⁻¹ -----		
Testigo	1190	1431	2621
Sorgo	1578	1508	3086
Clitoria	1524	1579	3103
Crotalaria	1754	1654	3408
Maleza	1165	1093	2258
Tukey ^{0.05}	172	163	253
Tukey ^{0.05}	218	207	321

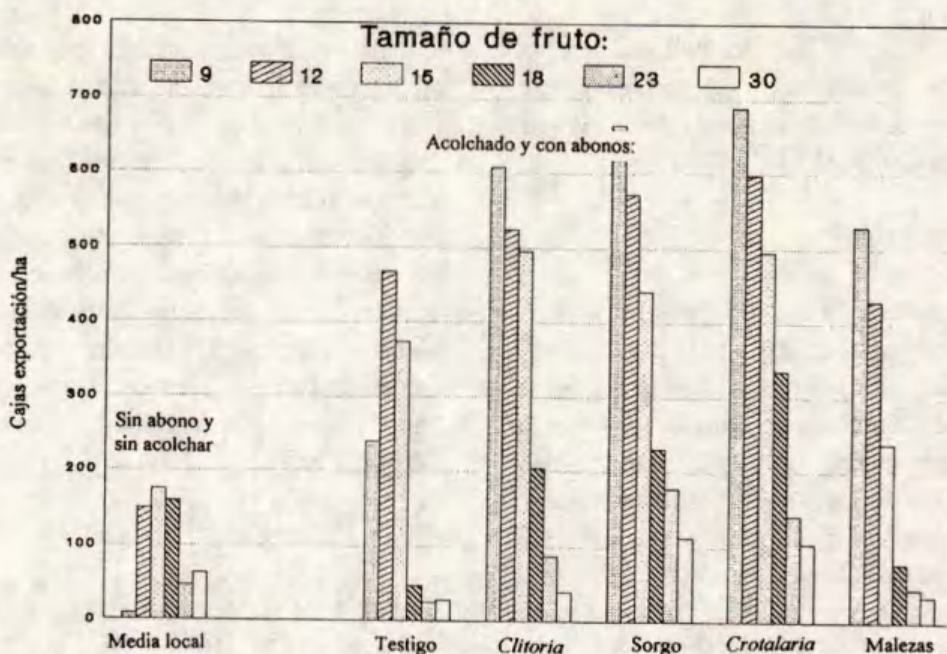


Figura 1. Efecto de abonos verdes en el tamaño de fruta.

diferencias obtenidas entre tratamientos, la producción fue muy aceptable para la región, ya que en promedio se obtiene de 600 a 700 cajas de exportación por hectárea (FIRA, 1991; Orozco-Santos *et al.*, 1993).

CONCLUSIONES

1. La incorporación de abonos verdes incrementó la producción en cantidad y calidad de fruta de melón de exportación.
2. Es probable que las mejoras físicas y químicas del suelo, mediante la incorporación de abonos verdes, sean los factores responsables del incremento en producción.
3. Las recomendaciones de fertilización deben incorporar los requerimientos nutricionales del cultivo y las metas de producción a

obtener al considerar la cantidad a aplicar de N, P y K.

4. Los abonos verdes mejoraron la eficiencia de uso del N por tonelada de fruta de melón producida.
5. *Crotalaria* es la mejor opción como abono verde. Esto se basa en el incremento en producción y calidad de fruta de melón, así como en las ventajas agronómicas que tiene. De estas destacan que no requiere fertilizantes, insecticidas ni herbicidas y tiene una alta tasa de crecimiento diaria. La cantidad de semilla recomendada es de 35 kg ha⁻¹ sembrada al voleo e incorporada con rastra.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, M.S. 1960 History and development of soil testing. *Agric. Food. Chem.* 8: 84-87.

- AULAKH, M.S., J.W. DORAN, D.T. WALTERS, A.R. MOSIER, and D.D. FRANCIS. 1991. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1020-1025.
- BHELLA, H.S., and G.E. WILCOX. 1986. Yield and composition of muskmelon as influenced by preplant and trickle applied nitrogen. *HortSci.* 21: 86-88.
- FAO/UNESCO. 1973. International sourcebook on irrigation and drainage of arid lands. UNESCO. Paris, Hutchinson, Londres.
- FIRA. 1991. Diagnóstico del cultivo del melón en Colima y participación de FIRA en su financiamiento. Mimeografiado. Residencia Colima, FIRA, Banco de México, México.
- GABRIEL, M. L., and S. FOGEL. 1955. Great experiment in biology. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, Paris.
- INIFAP. 1993. Proyecto de investigación: Generación y optimización de tecnología para producir melón en Colima. Mimeografiado. INIFAP. SARH, México.
- KELLY, W.C. 1990. Minimal use of synthetic fertilizers in vegetable production. *HortSci.* 25: 168-169.
- LOY, J.B., and O.S. WELLS. 1975. Response of hybrid muskmelon to polyethylene row covers and black polyethylene mulch. *Scientia Hort.* 3:223-230.
- McKENNEY, D.J., S.W. WANG, C.F. DRURY, and W.I. FINDLAY. 1993. Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass, and corn residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1013-1020.
- MORENO, D.R., A. AGUILAR S. y J. PULIDO S. 1987. La solución extractora universal de Morgan. pp. 177-189. In: A. Aguilar S., J. D. Etchevers B., y J.Z. Castellanos (eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- OROZCO-SANTOS, M., O. López-ARRIAGA y O. Pérez-ZAMORA. 1993. Avances de investigación en melón (*Cucumis melo* L.). In: Generación y optimización de tecnología para producir melón en Colima. Mimeografiado. INIFAP. SARH. México.
- PEREZ-ZAMORA, O. 1993. Estudio preliminar de la precipitación pluvial mensual en el estado de Colima. Folleto Técnico No. 1. INIFAP. SARH. México.
- PEREZ-ZAMORA, O. 1979. Effects of nitrogen and phosphorus additions on the growth and composition of corn (*Zea mays* L.) plants grown on a calcareous soil. Ph. D. Thesis. University of California, Davis, USA.
- PEREZ-ZAMORA, O., M. OROZCO-SANTOS, y O. LOPEZ-ARRIAGA. 1994. Determinación de la eficiencia de N en melón cantaloupe con y sin abonos verdes. VII Reunión Trópico 94. Universidad de Colima. Colima, Col. México.
- PEREZ-ZAMORA, O. 1994. Response of cantaloupe hybrid to soil amended with legume and forage sorghum. *Agronomy Abstract* 1994. Annual Meetings Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Seattle, Washington, USA.
- PORTER, K.S. 1975. Nitrogen and phosphorus-food production, waste and the environment. *Ann Arbor Science*, Ann Arbor, Mich., USA.
- RUSSELL, E.J. 1961. Soil conditions and plant growth. 9th ed. John Wiley and Sons., Inc., New York, USA.
- SCHALE, F.D., and R.L. SHELDRAKE. 1965. Mulch effects on soil conditions and muskmelon response. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 8:425-430.
- SHMUELLI, M. y D. GOLDBERG. 1971. Sprinkler, furrow and trickle irrigation of muskmelon in arid zone. *HortSci.* 6:557-559.
- TISDALE, S.L. y W.L. NELSON. 1982. Fertilidad de los suelos y Fertilizantes. UTEHA. México, D.F.
- WAGGONER, P.E., P.M. MILLER, and H.C. DE ROO. 1960. Plastic mulching, principles and benefits. *Connecticut Agr. Expt. Sta. Bull.*, New Haven. 634:124-128.
- WALTERS, D. T., M.S. AULAKH, and J.W. DORAN. 1992. Effects of soil aeration, legume residue, and soil texture on transformation of macro- and micronutrients in soils. *Soil Sci.* 153:100-107.
- WFH (Western fertilizer handbook). 1975. California Fertilization Association. 2222 Watt Avenue. Sacramento, California, USA.
- WILFRED, S., W.L. LAMONT Jr., and Ch. W. MARR. 1991. Legumes alone and in combination with manure as fertilizers in an intensive muskmelon production system. *HortSci.* 26: 1431.

APLICACION DE MEJORADORES QUIMICOS A UN SUELO CALCIMORFICO CON Y SIN COBERTURA PLASTICA EN LA PRODUCCION DE MELON

Chemical Amendments Applied to a Calcimorphic Soil and its Effects on Yield of Cantaloupe Melon Grown with and without Plastic Mulching

Octavio Pérez-Zamora, Oscar López-Arriaga y
Mario Orozco-Santos

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

Palabras clave: Mejoradores químicos, Acolchado, Suelo alcalino, Melón cantaloupe, Quelatos.

Index words: Chemical amendments, Plastic mulching, Soil alkaline, Melon cantaloupe, Chelates.

RESUMEN

Dos terceras partes de la superficie donde se cultiva melón de exportación en el estado de Colima son suelos alcalinos, con pH de 7.8 a 8.2, pobres en P y micronutrientes. Con el objetivo de corregir o al menos atenuar este efecto se condujo un experimento en un suelo de esta naturaleza en el invierno 1993-1994. Los tratamientos consistieron de suelos con cubiertas de plástico (CP) y sin cubierta (SP) como parcelas grandes, y como parcelas

chicas diferentes mejoradores químicos: ácido sulfúrico (AS), azufre en polvo (S), quelato de hierro (QFe), quelato de zinc (QZn), sulfato de zinc (SZn) y un testigo (T) sin aplicación de mejorador al suelo. Cada tratamiento se repitió cuatro veces en a rreglo experimental de parcelas divididas; el cultivar de melón utilizado fue Laguna y el riego (357 mm) fue por goteo. Los resultados mostraron efectos ($P=0.01$) favorables por la utilización de CP, que produjeron 1.8 veces más fruta total comercial y de exportación que SP. También los mejoradores de suelo mostraron efectos altamente significativos ($P=0.01$) con respecto al testigo cuando se aplicaron en suelo desnudo o con cubierta plástica, sin embargo, el efecto resultó considerablemente mayor ($P=0.01$) al combinarse con CP. El efecto en la producción de fruta total y de exportación en ambos, CP y SP, siguió el siguiente orden $S > AS > QFe > QZn > SZn > T$. Los efectos favorables de los mejoradores se relacionaron con la acción ácida del AS y S, mientras que en los quelatos con el efecto secuestrante de Fe y Zn.

Recibido 10-94.

SUMMARY

Two thirds of the melon for export producing area in the State of Colima, are on alkaline (pH 7.8-8.2) soils which are also low in available P and micronutrients. Under these conditions yields are severely affected (60% drop) if P is not applied or applied in amounts below crop requirements, at planting time. The objective of this work was to look for the improvement of this soil situation using soil chemical amendments. Treatments consisted of sulphuric acid (SA), sulphur (S), Fe and Zn chelates, zinc sulfate (ZnS), and a control (T) without any chemical applied. The amendments were applied both to bare soil (BS) and to plastic mulched soil (PC). The experiment was arranged according to a split-plot design with four reps. The melon cultivar used was Laguna and drip irrigation of 375 mm. Results showed a marked effect of plastic mulching (PC) on yield with 1.8 times more than that for BS. All chemical amendments yielded more than T, but their effect was considerable higher when plastic mulching was used. Soil amended with S and use of plastic mulch combined produced a total of 3258 boxes of fruit of which 2076 were of export quality. The lowest yield was obtained from T with BS (1326 total and 599 for export). The beneficial effect of SA and S was related to its acidifying effect that helped the assimilation of P and other nutrients; while Fe and Zn chelates were more efficiently used for their chelating effects.

INTRODUCCION

En el estado de Colima se siembran más de 3000 ha con melón cantaloupe (*Cucumis melo* L.), de estas, 1500 se establecen con riego por goteo y 20% con acolchado plástico al suelo; sin embargo, los rendimientos y calidad de fruta no guardan relación con estas técnicas innovadoras

utilizadas en el cultivo. En parte, esto se asocia con la clase de suelo donde se cultiva el melón, ya que aproximadamente dos terceras partes de los suelos de la región melonera se caracterizan por su naturaleza alcalina, con valores de pH de 7.8 a 8.2, pobres en P y en micronutrientes (Pérez-Zamora *et al.*, 1994). En consecuencia una considerable superficie es deficiente en P y aun en los suelos más fértiles de la región las concentraciones de P en la solución del suelo son por lo general menores a 10 μm ; además, la capacidad de fijación de P se ha determinado como de 60 kg h^{-1} (Pérez-Zamora *et al.*, 1994).

En Tecmán se han observado plantas con crecimiento pobre, reducción en rendimiento de 60%, así como pérdida de calidad del fruto, asociados con ausencia de fertilización basal de P, aplicaciones por debajo de la cantidad requerida y fallas frecuentes en los equipos de fertilizadoras (muy común en la región), lo cual se relaciona con la carencia de un programa de mantenimiento de maquinaria y equipo.

Los sistemas intensivos de cultivos como el melón remueven 150 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, sin embargo, en suelos alcalinos pueden extraer sólo 20 % del fertilizante, mientras que el resto del P permanece fijado en el suelo (Chellamuthu y Kothandaraman, 1994). En Tecmán, la deficiencia de P está ampliamente diseminada y, aunque se reconoce la necesidad de este nutrimento en la producción de melón, el nivel de consumo durante los últimos años de cultivo de la hortaliza no ha sido del todo satisfactoria. Dicha situación se ha agravado por el descontrol de la industria de los fertilizantes, dados los incrementos económicos de casi el doble que han tenido lugar en las fuentes fosfóricas, por tal razón las dosis de aplicación en melón se encuentran por debajo (60 a 70 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) de las necesarias para la producción satisfactoria del cultivo (Oscar López-Arriaga, 1993).

Comunicación personal). En consecuencia, al igual que en otras partes del mundo, la utilización de los suelos calcáreos está en función de la disponibilidad y corrección del P aplicado y de ciertos micronutrientes. Sobre este particular se ha sugerido la utilización de S proveniente del gas industrial para rehabilitar a estos suelos (Akinremi and Cho, 1991; Biederbeck, 1978; Dewan y Famouri, 1991; Shahrokhnia y Ardekani, 1994).

En suelos alcalinos del norte de México se han probado fertilizantes ácidos líquidos con resultados satisfactorios para atenuar serios problemas de fijación y precipitación de elementos nutritivos como el P; estos materiales se han colocado en la categoría de mejoradores del suelo (Requejo *et al.*, 1994). Dichos materiales se preparan a base de ácido sulfúrico, urea y ácido fosfórico, y su aplicación afecta positivamente la altura de las plantas, concentración foliar de P y Ca, así como la eficiencia de absorción de tales nutrientes.

Por otra parte, Medina y Cano (1994) señalan que poco se conoce en México para determinar las dosis de aplicación de N, P y K, que permita incrementar producción total y calidad de fruta de melón cantaloupe; al respecto, reportan que las deficiencias de P y K se relacionan con bajas aplicaciones de dichos nutrientes, mientras que a los excesos de N los agrupan con sobre fertilización nitrogenada del melón.

En este cultivo, las prácticas de fertilización más comunes incluyen NPK, sin embargo, después de estos elementos las deficiencias de Zn son las más frecuentes en suelos alcalinos (IAEA, 1981; Murphy y Walsh, 1972; Rajan, 1994; Yli-Halla, 1994;). La carencia de Zn puede corregirse mediante aplicaciones directas de varias sales como el $ZnSO_4$ y con aplicaciones de dosis moderadas a

altas pueden satisfacerse los requerimientos hasta por dos ciclos de cultivo, efecto residual del Zn (Murphy y Walsh, 1972). Sin embargo, se menciona que la eficiencia de absorción de dicho elemento puede ser limitada por fuerte adsorción del suelo. La causa de esto se relaciona con la abundancia de iones Ca, que puede ser responsable de una inmovilización de 13 a 100% (media 57%) del Zn; al respecto se encontró una fuerte correlación ($r=0.84^{**}$) con el pH del suelo (Yli-Halla, 1994).

Otros métodos de corrección de elementos menores en suelos calcáreos son la aplicación de quelatos de Fe y Zn, que también han dado resultados satisfactorios. La importancia de los micronutrientes en hortalizas se relaciona con un incremento en las tasas fotosintéticas y en la translocación de azúcares (Uppal y Singh, 1989), así como con el incremento en el tamaño de la fruta (Trethan y Grewal, 1981). El objetivo del trabajo fue corregir y mejorar la absorción de P e incrementar la producción de melón cantaloupe en suelos alcalinos del valle de Tecomán.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se estableció en terrenos del Campo Experimental Tecomán, ($18^{\circ} 50' N$, $108^{\circ} 48'$, 30 m de altitud) dependiente del INIFAP. El suelo utilizado fue un Luvisol ródico (FAO-UNESCO, 1973), caracterizado por alto contenido de carbonatos (33%), deficiente en P, Zn, Fe y Mn; pobre en materia orgánica (0.99 %), porcentaje de saturación de bases de 100 %; pH de 7.9; profundidad de 75 cm; textura franca y franca arcillosa a 0 a 30 y 30 a 60 cm de profundidad, respectivamente; plano (1%), capacidad de retención de humedad aprovechable del suelo de 84 mm; el clima de la zona es semiárido.

Los tratamientos en estudio fueron ácido sulfúrico (AS) y azufre (S), en dosis de 100 kg ha⁻¹, sulfato de Zinc (ZnSO₄) en dosis de 30 kg ha⁻¹; quelatos de Fe y Zn (QFe y QZn) a 9%, en dosis de 7.5 kg ha⁻¹; todos los mejoradores de suelo se aplicaron antes de cubrir con plástico las camas y de sembrar el melón. Cada tratamiento se repitió cuatro veces en suelo desnudo (SP) y suelo cubierto con plástico transparente de polietileno (CP), respectivamente. El arreglo experimental fue de parcelas divididas.

El cultivar de melón empleado fue el híbrido Laguna; se depositó una semilla cada 0.2 m, en el agujero practicado en el plástico de polietileno colocado sobre la cama; el espaciamiento entre camas fue de 1.78 m; la misma distancia de plantación se utilizó en suelo desnudo (SP). La fertilización total fue de 250-150-280 kg de N, P y K, respectivamente, la cual se fraccionó en basal y nueve aplicaciones subsecuentes (de N y K) en el agua de riego. La fertilización basal consistió de 100-150-150 más 25 kg de Furadán 2.5% para protección de las plántulas contra las plagas.

La aplicación del riego fue por goteo; se inició en la siembra (28 de enero de 1994) y continuó por 90 días después de la siembra (dds).

Cuadro 1. Características químicas del agua de riego utilizada durante el ciclo de cultivo del melón cantaloupe cv. Laguna. Campo Experimental Tecmán. INIFAP. 1994.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
pH	6.92	Nitratos (mg/L)	4.3
CE (dS/m)	1.32	Nitritos (mg/L)	1.32
TDS+ (g/L)	0.65	CO ₂ (mg/L)	88.00
Ca (me/L)	12.0	CO ₃ (me/L)	—
Mg (me/L)	1.0	HCO ₃ (me/L)	5.0
K (me/L)	—	Cl (me/L)	2.0
Na (me/L)	0.6	SO ₄ (me/L)	7.0

+ Sólidos totales disueltos

La aplicación de agua se hizo a 0.3 atm de tensión de humedad del suelo; la lámina de riego total aplicada fue de 357 mm, la cual se estimó previamente, determinando la evapotranspiración potencial del cultivo, la necesidad de riego bruta y el requerimiento adicional para lavado de sales. La conductividad eléctrica y N-NO₃, así como la concentración en me/L de Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, Cl y SO₄ se evaluó semanalmente en el agua de riego extraída del pozo (Cuadro 1).

La cosecha se inició a los 65 dds; se efectuaron 13 cortes de melón, los frutos se clasificaron en calidad exportación, nacional y pachanga; además, la fruta de exportación se gradó por tamaño en números 6, 9, 12, 15, 18, 23 y 30 melones/caja de acuerdo con los procedimientos estándar del mercado internacional. El peso promedio de las cajas de exportación fue de 18.0 a 18.5 kg.

RESULTADOS Y DISCUSION

Uso de cubiertas plásticas

La utilización de cubiertas plásticas resultó altamente significativamente mayor (P=0.01) en el rendimiento de melón para toneladas y número de cajas por hectárea de fruta con calidad de exportación (Cuadro 2 y Cuadro 4). Con cubiertas plásticas la producción (31.17 t ha⁻¹ y 1689 cajas ha⁻¹) fue 1.88 veces mayor que en SP (16.55 t y 897 cajas ha⁻¹). Estos rendimientos son promedio de los mejoradores ácidos y el testigo, sin embargo, el efecto individual sobre el rendimiento, al combinar CP con mejoradores del suelo resultó considerablemente superior para algunos de los tratamientos (Cuadro 4). El efecto favorable de las cubiertas plásticas se relacionó con mejor aprovechamiento del agua, incremento en la tasa

Cuadro 2 Valores de F calculada en el análisis de varianza de rendimiento de fruta de melón cantaloupe. Campo Experimental Tecomán. INIFAP. 1994.

Fuente	GL	Exportación	Nacional	Total	Exportación	Nacional	Total
			t ha ⁻¹			Cajas ha ⁻¹	
Repeticiones	4	1.65NS	1.26NS	2.64NS	2.44NS	1.28NS	0.89NS
Factor A	1	3120.55**	786.66**	4706.24**	3345.59**	801.28*	2310.71**
Error A	4						
Interacción AB	5	108.74**	7.35NS	77.76**	105.69**	7.77NS	62.87**
Error B	40	59.45**	3.70NS	32.06**	56.40**	4.43NS	25.08**
Total	59						
Coef- Variación %		5.12	8.12	3.51	5.13	8.02	3.79

**Significativo al 0.01%, *significativo al 0.05; NS = no significativo. GL = grados de libertad.

de asimilación de nutrientes y temperaturas del suelo, que se convirtieron en estímulo de crecimiento de la planta para incrementar la producción y calidad de las frutas, así como para retardar (dos semanas) la iniciación de enfermedades virales, en comparación con plantas desarrolladas en suelo desnudo (Pérez-Zamora *et al.*, 1994; Orozco-Santos *et al.*, 1993).

Por lo que respecta al efecto retardante en la aparición de las enfermedades, éste se atribuyó al efecto repelente del plástico que dio lugar a menores poblaciones de áfidos y mosquitas blancas (Jones y Proudlove, 1991). Las temperaturas del suelo registradas en el experimento, promedio de observaciones diarias durante un periodo de 4 semanas, a diferentes horas del día (800, 1200 y 1800) fueron consistentemente más altas en suelo con CP, en este tratamiento fueron de 27.5, 34.8 y 38.5 °C, en contraste en el suelo SP las temperaturas fueron 22.6, 28.5 y 30.0 °C a las 800, 1200 y 1800 hr, respectivamente.

Uso de mejoradores del suelo

Los rendimientos medios obtenidos en el T se muestran en el Cuadro 3. Dichos rendimientos resultaron ($P=0.01$) altamente significativos en ambos, t y cajas ha⁻¹ para fruta

total y con calidad de exportación. El mayor efecto sobre el rendimiento se obtuvo con AS y S, con los cuales la producción se incrementó 1.65 veces con respecto al T; le siguieron con efecto positivo el QZn (1.52), QFe (1.44) y ZnSO₄ (1.41 mayor que el testigo). Además, la proporción de fruta de exportación (FE):fruta total (FT) también se incrementó (11.6%) con el uso de mejoradores con respecto al T; sin embargo, con el S fue el tratamiento con el cual se obtuvo el mayor porcentaje de FE.

Los incrementos en producción y calidad de fruta se explican de dos maneras; en el caso de AS y S, éste se relacionó con su efecto acidificante que tiende a reducir el pH, a hacer al P más asimilable y promover la absorción de éste y otros nutrientes como el Zn, Fe y Mn, dado que estos últimos son afectados en su disponibilidad y absorción en los suelos calcáreos como los del presente estudio. En lo referente a quelatos de Fe y Zn, el efecto favorable se explicó por las propiedades secuestrantes de los quelatos que permitieron que el Fe y Zn estuvieran disponibles para la planta. El uso y respuesta favorable a ZnSO₄ corroboró los resultados de los análisis químicos del suelo, que reportaron niveles (0.5 ppm) pobres de Zn extractable con DTPA.

Cuadro 3 . Efecto de mejoradores del suelo aplicados previo a la siembra de melón cantaloupe. Campo Experimental Tecomán. INIFAP, 1994.

Tratamiento	Exportación Nacional Total			Exportación Nacional Total		
	----- t ha ⁻¹ -----			----- Cajas ha ⁻¹ -----		
Testigo	16.38	19.66	36.04	895	1079	1974
Quelato de Fe	23.80	17.51	41.31	1286	978	2264
Azufre	27.18	17.45	44.63	1475	944	2419
Sulfato de Zn	23.35	18.94	42.29	1262	979	2241
Acido sulfúrico	27.38	21.04	42.42	1479	1138	2617
Quelato de Zn	25.08	20.23	45.31	1359	1100	2459

Cuadro 4. Efecto de cubiertas plásticas y mejoradores del suelo sobre el rendimiento de fruta de melón cantaloupe. CET. INIFAP 1994.

Tratamiento	Exportación Nacional Total			Exportación Nacional Total		
	----- T ha ⁻¹ -----			----- Cajas ha ⁻¹ -----		
SP-Testigo	11.09	13.46	24.55	599	728	1327
SP-Quelato de Fe	13.35	11.77	25.12	721	700	1421
SP-Azufre	15.96	13.94	29.90	875	754	1629
SP-Sulfato de Zn	17.73	13.32	31.05	958	720	1678
SP-A. Sulfúrico	19.92	16.64	36.56	1077	899	1976
SP-Quelato de Zn	21.27	15.46	36.73	1150	835	1985
CP-Testigo	21.67	25.88	47.55	1190	1430	2620
CP-Quelato de Fe	34.25	23.25	57.50	1851	1256	3107
CP-Azufre	38.41	20.96	59.37	2076	1133	3209
CP-Sulfato de Zn	28.98	26.55	53.53	1566	1237	2803
CP-A. Sulfúrico	34.84	25.44	60.28	1883	1375	3258
CP-Quelato de Zn	28.89	25.02	53.91	1568	1352	2920
Tukey (0.05)	2.70		3.59	146		194
Tukey (0.01)	3.16		4.22	171		228

SP = sin acolchado; CP = con acolchado.

Interacción de cubiertas plásticas y mejoradores del suelo

Los resultados del uso de cubiertas plásticas y mejoradores del suelo mostraron efecto de interacción ($P=0.01$) significativo al combinarse en su aplicación. El efecto se manifestó en rendimiento total y de fruta de exportación (Cuadro 4). Ambos, CP y mejoradores del suelo utilizados en forma individual incrementaron considerablemente el

rendimiento con respecto al T establecido en suelo desnudo (SP).

En suelo desnudo el uso de AS y QZn incrementó el rendimiento total en 50% con respecto al T. Con otros mejoradores los incrementos fueron de menor magnitud que con los dos mencionados; el $ZnSO_4$ aumentó el rendimiento en 26.0 %, el S en 22.0 % y con QFe el aumento fue de sólo 2.0%. Sin embargo aunque fue mínimo el incremento total, con dicho

QFe es de resaltar que la proporción FE:FT fue de 53.0 % que resultó 10.0 % superior a la obtenida con el T. Las proporciones FE:FT observadas con el resto de los mejoradores en suelo SP fue de 58.0, 57.0, 54.0 y 53.0 % para QZn, ZnSO₄, AS y S, respectivamente.

Con el uso de plásticos en el T la producción se incrementó en 94.0 % con respecto al T establecido en suelo SP; la CP incrementó la fruta de exportación y la de calidad nacional, sin embargo, la proporción FE:FT resultó igual que en el T establecido en el suelo sin plástico. Por lo que respecta al uso de mejoradores combinados con CP el incremento en proporción FE:FT fue de 65.0, 60.0, 58.0, 55.0 y 52.0 % para S, QFe, AS, QZn, y ZnSO₄, respectivamente.

Un hecho que merece atención es el efecto de los mejoradores del suelo sobre la cantidad de fruta de exportación producida, ya que este rubro es importante en la región para la comercialización de la fruta, ya sea que el destino final sea de exportación o de comercialización local. Al respecto, la aplicación de QZn y AS en suelo desnudo (SP) resultaron estadísticamente ($P=0.01$) iguales al testigo con cubierta plástica, lo cual resulta importante al estimar los costos de producción del cultivo y establecer las metas de producción a obtener.

CONCLUSIONES

1. La cubierta plástica produjo efectos considerables (1.8 veces más) sobre la producción total y en la calidad de fruta de exportación.
2. Los mejoradores del suelo incrementaron la producción de fruta total y la calidad de exportación en suelos desnudos y suelos con cubierta plástica.
3. La combinación de cubiertas plásticas y mejoradores químicos del suelo mostraron interacción positiva sobre la producción de fruta.
4. Los mejoradores que mostraron los efectos más favorables fueron el S, AS y QZn, tanto en suelos con cubierta plástica como en suelos desnudos.
5. Los mejoradores de suelo incrementaron la proporción (10.0 %) de fruta de exportación (FE): fruta total (FT), con respecto a los testigos ubicados en suelos con o sin plástico.

LITERATURA CITADA

- AKINREMI O.O., and C.M. CHO. 1991. Phosphate and accompanying cation transport in calcareous-exchange resin system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:959-964.
- BIEDERBECK, V.O. 1978. Soil organic sulphur and fertility. pp. 273-310. *In: M. Schnitzer, and S.V. Khan (eds.). Soil organic matter.* Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- CHELLAMUTHU, S. and G.V. KOTHANDARAMAN. 1994. Use of rock phosphate in neutral to alkaline soils and its effect on yield and quality of rice in a cropping system. *In: Symposium Fertilizer Technology its Efficient Use for Crop Production. Transactions 15th World Congress of Soil Science.* Acapulco, Mexico.
- DEWAN M.L., and J. FAMOURI. 1991. The soils of Iran. Joint Project with FAO, Published by Agricultural Ministry of Iran, Iran.
- FAO-UNESCO. 1973. International sourcebook on irrigation and drainage of arid lands. UNESCO, Paris, Hutchinson, Londres.
- IAEA. 1981. Zinc fertilization of flooded rice. International Atomic Energy Agency, Tecdoc 242. Vienna.
- JONES, R.C.A., and W. PROUDLOVE. 1991. Further studies on cucumber mosaic virus infection on narrow leaf lupin (*Lupinus angustifolius*): seed-borne infection, aphid transmission, spread and effects on grain yield. *Ann. Appl. Biol.* 118:319-329.
- MEDINA, M.D.C., and P. CANO R. 1994. Nutritional diagnostic of muskmelon (*Cucumis melo* L.) in the Comarca Lagunera. *In: Symposium Soil Testing and Plant Analysis: methodology and interpretation. Transactions 15th World Congress of Soil Science.* Acapulco, Mexico.

- MURPHY, L. S., and L.M.WALSH. 1972. Correction of micronutrients deficiencies with fertilisers. pp. 347-387. *In: J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, and W.L. Lindsay (eds.). Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA.*
- OROZCO-SANTOS, M., O. LOPEZ-ARRIAGA, O. Pérez-ZAMORA, and F. DELGADILLO. 1994. Effect of transparent mulch, floating row covers and oil sprays on insects populations, virus diseases and yield of cantaloup. *Biological Agriculture and Horticulture*. 10: 229-234.
- PEREZ-ZAMORA, O., O. LOPEZ-ARRIAGA, and M. OROZCO-SANTOS. 1994. Green manure use for muskmelon (*Cucumis melo*) production in Colima Mexico. *In: Symposium Fertilizer Technology its Efficient Use for Crop Production. Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.*
- RAJAN R., A. 1994. Direct and residual effects of applied zinc sulphate in wetland rice. *In: Symposium Fertilizer Technology its Efficient Use for Crop Production. Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.*
- REQUEJO, R., R. MENDOZA, L. ESCOBEDO, and J.M. DIMAS. 1994. Effect of acid liquids fertilizers on corn, barley and triticale in greenhouse. *In: Symposium Fertilizer Technology its Efficient Use for Crop Production. Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.*
- SHAHROKHNIA, A., and J. N. Ardekani. 1994. The effect of sulfur application on P availability and cotton yield in a calcareous soil. *In: Symposium Global Advances of Sulphur Research in Soil and Plant Nutrition. Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.*
- Singh, B.R. 1994. Plant availability of phosphorus at different temperature from previously heavily fertilized soils. *In: Symposium Fertilizer Technology its Efficient Use for Crop Production. Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.*
- Uppal, D.S., and S. Singh. 1989. Effect of zinc and manganese on the photosynthetic rate and translocation of sugars in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal Nuclear Agriculture Biology* 18:64-66.
- Trethan, S.P., and J.S. Grewal. 1981. Comparative efficiency of methods of applications of zinc to potato. *Indian Journal of Agriculture Sciences* 51: 240-243.
- Yli-Halla, M. 1994. Zinc adsorption and increase of plant zinc concentration in wetland rice. *In: Symposium Fertilizer Technology its Efficient Use for Crop Production. Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.*

NITROGENO Y SALINIDAD Y SUS EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO DEL GIRASOL

Salinity and Nitrogen and their Effects on Sunflower Growth

J. Alberto Escalante Estrada

Programa de Botánica, IRENAT.
Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo Edo. de México.

Palabras clave: *Helianthus annuus* L.,
Transpiración, Relación vástago/raíz.

Index words: *Helianthus annuus* L.,
Transpiration, Shoot/root ratio.

combinación de ambas (S+NO). Asimismo, bajo condiciones de salinidad, las plantas N+ mostraron mayor crecimiento que las NO. Esto sugiere que mediante la aplicación de nitrógeno se pueden mitigar los daños ocasionados por la salinidad al crecimiento del girasol.

RESUMEN

Plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) se cultivaron por 6 semanas en hidroponía en recipientes de 1 L de capacidad, utilizando solución nutritiva de Hoagland. Los tratamientos fueron: 1) con NaCl (60 mM L⁻¹) y con nitrógeno en la solución (S+N+); 2) sin NaCl y con nitrógeno (SON+), testigo; 3) con NaCl y con restricción de nitrógeno (S+NO); y 4) sin NaCl y restricción de nitrógeno (SONO). En NO el nivel de N se redujo a 1 mM, en N+ este fue de 15 mM. Los resultados, a los 40 días después de la siembra, indicaron que todas las variables del crecimiento y la transpiración declinaron, tanto por efecto de la salinidad (S+) como por la restricción de nitrógeno (NO). Dicha declinación fue más severa con la

SUMMARY

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants were grown during six weeks under hydroponic conditions in 1 L containers and using Hoagland's nutrient solution. Treatments were: 1) NaCl (60 mM) and N (S+N+); 2) non NaCl, and N (SON-) considered as control; 3) NaCl and N restricted (S+NO); and 4) non NaCl and N restricted (SONO). The levels of N were 2 mM in NO and 15 mM in N+. Forty days after planting the results showed that all growth variables as well as transpirations had declined both due to salinity as to N restriction. This declination was more severe with the combination S and NO. Also, under saline conditions plants from the N+ treatments. This suggests that through

Recibido 3-95.

nitrogen application the damages caused by salinity to sunflower growth could be reduced.

INTRODUCCION

La salinidad es uno de los principales factores que limitan el crecimiento y producción de los cultivos a nivel mundial (Tanji, 1990). En México, este problema se presenta en las zonas áridas bajo riego, en las costas y en cuencas cerradas, como es el caso del ex lago de Texcoco que cubre una superficie de 26 760 ha (Fernández, 1990). De esta manera, los estudios sobre el conocimiento de las variables fisiológicas afectadas por la salinidad podrían dar una pauta para generar estrategias que conduzcan a reducir los daños causados por este factor.

Para elevar la producción o incorporar al proceso productivo a estas regiones salinas se han planteado una serie de estrategias, dentro de las que se puede mencionar el uso de especies tolerantes a la salinidad. Esto ha motivado a los fisiólogos a enfocar sus estudios para tratar de entender los mecanismos de tolerancia a sales y buscar indicadores fisiológicos para examinar las diferencias entre cultivares tolerantes y sensibles (Epstein, 1985; Fageria, 1985; Yeo y Flowers, 1983).

Uno de los efectos de la salinidad en los cultivos, es la inhibición de la expansión foliar y producción de biomasa (Leidi *et al.*, 1991). Dicha inhibición del área foliar puede deberse a una limitada absorción de nitrógeno ocasionada por la presencia de sales (Neumann *et al.*, 1988). Estos estudios y los de Bernstein *et al.* (1974), Kafafi *et al.* (1982), Feigin *et al.* (1987) y Martínez y Cerda (1989), los cuales han mostrado que la presencia de altas

concentraciones de NO_3^- en la solución reduce la absorción y acumulación de Cl^- , y que sugieren un antagonismo entre estos iones, han motivado a proponer estrategias basadas en la fertilización inorgánica (principalmente la nitrogenada) para reducir los daños en el crecimiento de plantas ocasionados por la salinidad. Aunque las evidencias han sido contradictorias, también se ha observado que aplicaciones de N mejoran el crecimiento y rendimiento de frijol (Wagenet *et al.*, 1983), pasto Bermuda (Langdale y Thomas, 1971), y maíz y algodón (Khalil *et al.*, 1967) cuando el grado de salinidad no es severa. Asimismo, Silberbush y Lips (1988) encontraron que la aplicación de N ocasionó una recuperación en el crecimiento de *Arachis hipogea* cuando este había sido restringido por la presencia de NaCl.

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la salinidad y la presencia de N en condiciones de salinidad sobre el crecimiento y transpiración del girasol, considerado como una especie tolerante a la salinidad (Maas, 1990). El umbral del daño por salinidad para esta especie indica valores de conductividad eléctrica de 1.6 a 3.2 mmho cm^{-1} .

MATERIALES Y METODOS

Condiciones de crecimiento

Plantas de girasol, cultivar Sungro 380, se cultivaron en condiciones de hidroponía en el invernadero por 6 semanas, con recipientes de 1 L de capacidad y solución nutritiva de Hoagland y un pH de 5.5. La temperatura media máxima fue de 20 °C y la media mínima de 14 °C. Se aplicaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno: 1) solución sin NaCl y con restricción de nitrógeno (SONO);

2) solución sin NaCl y con nitrógeno (SON+), considerado como el testigo; 3) solución con NaCl (60 mM) y con nitrógeno (S+N+); y 4) solución con NaCl y restricción de nitrógeno (S+NO). En N+ la concentración de nitrógeno (N) en la solución Hoagland fue 15mM (la fuente de N fue nitrato), en NO la concentración se redujo a 1 mM. Los tratamientos de NaCl y restricción de nitrógeno se aplicaron a los 21 días después de la siembra.

Variables en estudio

La conductividad eléctrica (mmho cm^{-1}) de la solución se determinó mediante el puente de Wheastone y mostró valores de 2 mmho cm^{-1} en la solución sin NaCl; y de 17 mmhos cm^{-1} en el tratamiento de NaCl. A estos tratamientos de NaCl, posteriormente nos referiremos como salinidad.

Durante el crecimiento de la planta se realizaron determinaciones a partir de los 23 días después de la siembra (dds) y después cada tercer día hasta la cosecha final de los siguientes parámetros: 1) la longitud (cm) del tercer par de hojas (que iniciaban su crecimiento) y 2) de los primeros dos entrenudos que tenía la planta al iniciar los tratamientos.

A la cosecha (40 dds) se determinó en el vástago: la altura de la planta, el número de hojas (NH), área foliar (AF, mediante un integrador de área), el peso específico foliar ($\text{PEF} = \text{peso de la hoja/área foliar, g dm}^{-2}$), área foliar media ($\text{AF} = \text{AF/NH, dm}^2 \text{ hoja}^{-1}$), peso seco (a la estufa a 80 °C por 72 h) del tallo y hojas y total del vástago (biomasa); 2) en el sistema radical el peso seco y volumen del mismo; y 3) la relación vástago/raíz con

base en peso seco. Además se determinó el volumen de agua transpirada, la eficiencia en la transpiración ($\text{ET} = \text{biomasa/transpiración}$), así como el potencial de agua (ψ_w) mediante la bomba de presión (Soil moisture Equipment Corp. California) (Scholander *et al.*, 1965).

A las variables en estudio se les practicó un análisis de varianza mediante un modelo factorial completamente al azar y la prueba de comparación de medias de Tukey a las variables con diferencia significativa.

RESULTADOS Y DISCUSION

Altura de la planta, área foliar y peso específico foliar

En el Cuadro 1 se observa como la salinidad (S+) y la restricción de N (NO) ocasionaron reducciones en el crecimiento del girasol, lo cual se manifestó en la altura de la planta, el área foliar por planta y el área foliar media. Dicha reducción fue más severa cuando se combinó la salinidad con la restricción de N (S+NO). En condiciones de salinidad (S+), las plantas N+ fueron 10% más altas y mostraron 22% más de área foliar que las NO. Esto indica la importancia que puede tener el nitrógeno para reducir los daños en el crecimiento ocasionados por la salinidad.

Por otra parte, la reducción en la altura fue producto de una menor elongación de los entrenudos (Figura 1); y la reducción en el área foliar producto de una menor expansión foliar (Figura 2). Estas respuestas fueron similares a las encontradas por Rawson *et al.*, (1988) y Munns y Schachtman (1993) en trigo y triticale.

El peso específico foliar (PEF, g dm⁻²) solamente mostró cambios significativos por efecto del N (Cuadro 1). Así, en cualquier nivel de salinidad, las hojas de plantas N+ mostraron

mayor PEF. Esto indica que, aun bajo condiciones de salinidad, las plantas N+, debido al mayor grosor del mesófilo, presentan ventajas desde el punto de vista fotosintético

Cuadro 1. Efecto de salinidad y restricción de nitrógeno sobre la altura de la planta, número de hojas, área foliar, área foliar media y peso específico foliar en girasol. Datos promedio de cuatro plantas, a los 40 días después de la siembra.

Tratamiento SAL	NIT	Altura	No. de hojas	Area foliar	Area foliar media	Peso específico foliar
		cm		dm ²	dm ² /hoja	g/dm ²
SO	N+	35.5	15.2	15.4	1.01	0.30
S+	N+	27.2	13.5	8.2	0.60	0.32
SO	NO	27.3	14.0	8.2	0.58	0.28
S+	NO	24.0	12.0	6.4	0.53	0.29
Prob. F.	Sal	*(3.8)	NS(1.1)	*(1.6)	** (0.071)	NS(0.022)
	NIT	*(3.1)	*(0.8)	** (1.0)	** (0.071)	** (0.018)
	Sal*NIT	NS(4.3)	NS(1.3)	** (1.6)	** (0.071)	NS(0.023)

NS-No significativo; *P≥0.05; **P≥0.01; (#) DSH 5%; SAL=nivel de salinidad; NIT = nivel de nitrógeno. SO = sin NaCl; S+ = con NaCl; N+ = con N; NO = sin N.

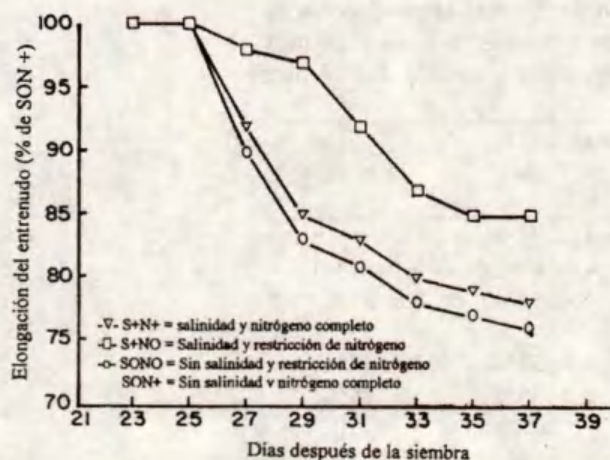


Figura 1. Efecto de la salinidad y nitrógeno sobre la elongación del entrenudo en girasol.

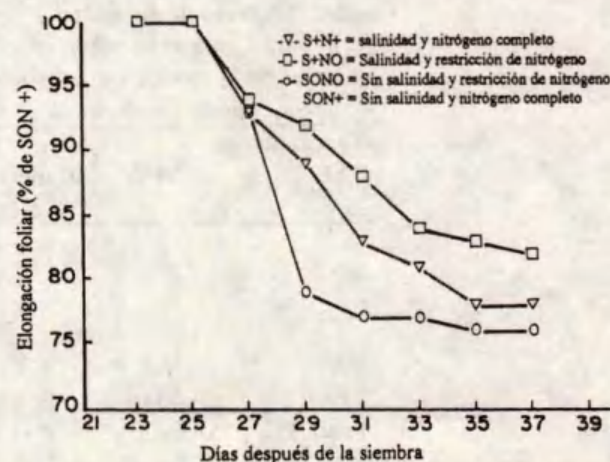


Figura 2. Efecto de la salinidad y nitrógeno sobre la elongación del tercer par de hojas de girasol.

que las plantas NO, aunque esto todavía esta sujeto a comprobación.

Materia seca del vástago y su distribución

Los resultados presentados en el Cuadro 2 muestran que tanto la salinidad (S+) como la restricción de N (NO) redujeron la acumulación de materia seca en el vástago del girasol. Dicha reducción fue más severa cuando se combinó la salinidad y la restricción de N (S+NO). Bajo condiciones de salinidad, las plantas N+ mostraron 23% mayor acumulación de materia seca que las NO.

La asignación de materia seca en tallo y hoja mostró cambios significativos por efecto de la salinidad, la restricción de N y la interacción de ambas. En S+N+ la acumulación de materia seca del tallo y de la hoja se redujo en 35% respecto a SON+ (testigo). Dicha reducción fue mayor cuando se combinó la salinidad y la restricción de N (S+NO). Bajo condiciones de salinidad, las plantas N+ mostraron un incremento de 45%

en la materia seca del tallo y de 56% en la de la hoja, respecto a las plantas con restricción de nitrógeno (NO, Cuadro 2).

Con relación al vástago, la asignación de materia seca (%) en el tallo y hoja del testigo fue similar y no cambió bajo condiciones de salinidad principalmente en N+. En S+NO, la acumulación de materia seca en la hoja se redujo respecto al tallo en relación con los tratamientos restantes (Cuadro 2).

Transpiración, eficiencia en la transpiración y potencial de agua (Ψ_w)

Los resultados de estas variables, presentadas en el Cuadro 3, muestran que en relación con el testigo (SON+), la transpiración total por planta se redujo por la salinidad (Nicolás *et al.*, 1993), la restricción de N (Escalante, 1992), y que dicha reducción fue más severa con la combinación salinidad y restricción de N (S+NO).

Cuadro 2. Efecto de salinidad y restricción de N sobre la producción de biomasa (materia seca) en el vástago y su asignación en tallos y hojas de girasol. Datos promedio de cuatro plantas a los 40 días después de la siembra.

Tratamientos		Materia seca		
SAL	NIT	Biomasa total	Tallo	Hoja
		vástago		
----- g/planta -----				
SO	N+	8.1	4.0 (49%) ^a	4.1 (51%)
S+	N+	5.2	2.6 (50%)	2.6 (50%)
SO	NO	4.9	2.6 (53%)	2.3 (47%)
S+	NO	4.0	2.2 (55%)	1.8 (45%)
Prob. F	SAL	** (0.82)	* (0.52)	* (1.1)
	NIT	** (0.72)	* (0.38)	** (0.54)
	S*N	** (1.02)	* (0.58)	** (1.02)

P \geq 0.05; **P \geq 0.01; (#) a, indica % respecto al vástago; (#) DSH5%.

SAL = nivel de salinidad; NIT = nivel de nitrógeno.

SO = sin NaCl; S+ = con NaCl; N+ = con N; NO = sin N.

Cuadro 3. Efecto de salinidad y restricción de nitrógeno sobre la transpiración total, eficiencia en la transpiración y potencial de agua en girasol. Datos promedio de cuatro plantas.

Tratamientos		Transpiración total	Eficiencia en transpiración	Potencial de agua
SAL	NIT			
		L/planta	g/L	MPa
SO	N+	2.41	3.36	0.60
S+	N+	1.36	3.82	0.90
SO	NO	1.61	3.04	0.55
S+	NO	1.22	3.28	0.88
Prob. F	Sal	*(0.50)	NS	** (0.06)
	NIT	** (0.40)	** (0.40)	NS (0.05)
	Sal*NIT	** (0.55)	*(0.50)	NS (0.86)

NS-NO significativo; * $P \geq 0.05$; ** $P \geq 0.01$; Los valores de Ψ_w son negativos.

SAL = nivel de salinidad; NIT = nivel de nitrógeno.

SO = sin NaCl; S+ con NaCl; N+ = con N; NO = sin N.

Por otra parte, la eficiencia en la transpiración no fue afectada por la salinidad, y fue más alta en los tratamientos N+.

Esta respuesta está relacionada con el mayor peso específico foliar (PEF, g dm⁻²) mostrado por las plantas N+ (Cuadro 1), puesto que el mayor grosor del mesofilo por unidad de área foliar, sugiere una mayor ventaja desde el punto de vista fotosintético, lo que se reflejó en una mayor producción de biomasa por unidad de agua transpirada. El análisis de correlación entre ET y PEF mostró que ambas variables están altamente correlacionadas ($r=0.99^{**}$, $n=4$) y confirma lo anteriormente expuesto.

El potencial de agua fue más bajo en las plantas bajo salinidad, independientemente del tratamiento de N. Dicha respuesta fue similar a la producida por el déficit hídrico. Al respecto, Munns y Schachtman (1993) indican que el primer efecto de la salinidad es la reducción de

la humedad disponible en la biosfera del sistema radical de la planta.

Sistema radical: acumulación de materia seca y volumen

Aunque el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en la acumulación de materia seca en la raíz, ésta mostró una tendencia a disminuir, tanto por efecto de salinidad como por restricción de N. Por otra parte, aún bajo salinidad, las plantas N+ mostraron un mayor volumen del sistema radical en relación con las NO (Cuadro 4). Tendencias similares fueron encontradas en trigo por Nicolás *et al.* (1993).

Relación vástago-raíz

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la relación vástago-raíz (VR) solamente para los efectos principales: salinidad y nitrógeno (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de salinidad y restricción de nitrógeno sobre el crecimiento del sistema radical (materia seca y volumen) y la relación vástago-raíz en girasol. Datos promedio de cuatro repeticiones a los 40 días después de la siembra.

Tratamiento SAL	NIT	Sistema radical		Relación
		Volumen mL	Materia seca g	vástago-raíz g/g
SO	N+	63.2	2.1	3.9
S+	N+	42.5	1.5	3.5
SO	NO	45.0	1.6	3.1
S+	NO	32.5	1.4	2.9
Prob. F	Sal	NS	NS	** (0.39)
	NIT	*(9.7)	NS	NS (0.50)
	S*N	NS	NS	NS

NS-No significativo; ** $P \geq 0.05$; () DSH 5%.

SAL = nivel de salinidad; NIT = nivel de nitrógeno.

SO = sin NaCl; S+ = con NaCl; N+ = con N; NO = sin N.

La VR más alta se encontró en SON+ (testigo) con 3.9 g de vástago por cada g de raíz; en N+ la salinidad (S+) redujo esta relación a 3.5; el valor más bajo correspondió al tratamiento de salinidad y restricción de nitrógeno (S+NO). Bajo condiciones de salinidad, las plantas N+ mostraron valores más altos (3.5) que las NO (2.9). La relación vástago-raíz es importante porque nos indica el costo en fotosintatos destinados al sistema radical en relación con el vástago. Desde el punto de vista antropocéntrico, es conveniente que dicha relación sea alta, porque ello supone una mayor acumulación de fotosintatos en el vástago (en particular en tallo y hojas) puesto que representa una reserva de fotosintatos que posteriormente pueden destinarse a los frutos y semillas.

En resumen, se puede indicar que tanto la salinidad como la restricción de N, redujeron significativamente el crecimiento del girasol y que dicha reducción fue más severa cuando existen salinidad y limitaciones de N en el

medio. Además, bajo condiciones de salinidad, las plantas con N mostraron mayor crecimiento que las que "sufrieron" restricción de este nutrimento. Este mayor crecimiento evaluado particularmente en términos de biomasa, está altamente relacionado ($r=0.89^{**}$) con un mayor volumen radical y una mayor transpiración por planta (Escalante, 1992; Loomis, 1983). Así mismo, la mayor eficiencia en la transpiración (g L^{-1} de agua) mostrada por las plantas N+ en cualquier nivel de salinidad se relacionó con un mayor peso específico foliar ($r=0.98^{**}$). Esto indica que el mayor grosor del mesofilo por unidad de área foliar sugiere una ventaja desde el punto de vista fotosintético, que en consecuencia, da mayor producción de materia seca por litro de agua transpirada.

También la salinidad y la restricción de nitrógeno redujeron la relación vástago-raíz; es decir, las plantas bajo estos tratamientos gastaron más fotosintatos para el crecimiento de la raíz con relación al vástago. Bajo

condiciones de salinidad, la presencia de N en el medio ocasionó que la relación vástago-raíz fuera más alta, dada la influencia del N sobre la estimulación de la expansión foliar que ocasiona incrementos en el área foliar y en la acumulación de materia seca en el vástago (Escalante, 1992). Además, esto supone una mayor reserva de materia seca en el vástago para, posteriormente, destinarse al crecimiento de frutos y semillas.

Por otra parte, se puede indicar que el efecto de un déficit de nitrógeno fue más drástico en condiciones no salinas que en presencia de sales. De acuerdo con Bernstein *et al.* (1974), esta respuesta se debe posiblemente a que el estrés sufrido por la planta bajo condiciones de salinidad fue más severo que el ocasionado por la restricción de N, lo que impidió que se manifestara este último. No obstante, el mayor crecimiento del girasol cuando se tuvo nitrógeno en el medio salino, y el encontrado en otros cultivos por otros investigadores (por ejemplo, Silberbush y Lips (1988) en cacahuete), parecen indicar que los daños fisiológicos ocasionados por la salinidad pueden reducirse con un suministro óptimo de nutrimentos, entre los cuales el nitrógeno juega un papel importante, lo que sugiere mayores estudios al respecto.

Finalmente, puede señalarse que bajo condiciones óptimas de N, la salinidad de 17 mmhos cm^{-1} redujo la producción de biomasa en casi 50%, lo cual da una idea de la tolerancia del girasol a la salinidad impuesta por NaCl y que, haciendo una comparación muy extrema, es similar a la encontrada en cultivos como cebada (18 mmho cm^{-1}) y superior a la encontrada para maíz (7 mmho cm^{-1}), reportados para reducción de 50% en el rendimiento por Palacios y Aceves (1970),

aunque hacen falta más estudios para confirmar esto.

CONCLUSIONES

La salinidad y la restricción de nitrógeno redujeron el crecimiento del girasol. Dicha reducción fue más severa cuando ambos tratamientos se combinaron. Bajo condiciones de salinidad el nitrógeno estimuló el crecimiento del girasol.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos Trejo L. y M.C. Carlos Ramírez A., por la revisión crítica del manuscrito. A Sissi Hernández, por el trabajo mecanográfico.

LITERATURA CITADA

- BERNSTEIN, L., L.E. FRANCOIS, and R.A. CLARK. 1974. Interactive effects of salinity and fertility of yields of grains and vegetables. *Agron. J.* 66: 412-421.
- EPSTEIN, E. 1985. Salt-tolerant crops: origins, development, and prospects of the concept. *Plant Soil* 89: 187-198.
- ESCALANTE E., J. A. 1992. Interacciones entre el nitrógeno y la densidad de siembra en el cultivo del girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo suministro limitado de agua. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- FAGERIA, N.K. 1985. Salt tolerance of rice cultivars. *Plant Soil* 88: 237-243.
- FEIGIN, A., I RYLSKI, A. MEIRI, and J. SHALHEVET. 1987. Response of melon and tomato plants to chloride-nitrate ratios in saline nutrient solutions. *J. Plant Nutr.*, 10: 1787-1794.
- FERNANDEZ G., R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. *Terra* 8: 226-240.
- KAFKAFI, U., N. VALORAS, and J. LETEY. 1982. Chloride interaction with nitrate and phosphate nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) *J. Plant Nutr.* 5: 1369-1385.
- KHALIL, M.A., F. AMER., and M.M. ELGABALL. 1967. A salinity fertility interactions study on corn and cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 683-686.
- LANGDALE, G.W., and J.R. THOMAS. 1971. Soil salinity effects on absorption of nitrogen, phosphorus and protein synthesis by coastal Bermuda grass. *Agron J.* 63: 708-711.
- LEIDI, E.O., M. SILBERBUSH, and S.H. LIPS. 1991. Wheat growth as affected by nitrogen type, pH and salinity. I. Biomass production and mineral composition. *J. Plant Nutr.* 14: 235-246.

- LOOMIS, R.S. 1983. Crop manipulations for efficient use of water: an overview. pp. 345-371. *In*: H.M. Taylor, W.R. Jordan, T.R. Sinclair (eds.). Limitations to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- MARTINEZ, V., and A. CERDA. 1989. Influence of N source on rate of Cl, N, Na and K uptake by cucumber seedlings grown in saline conditions. *J. Plant Nutr.* 12: 971-983.
- MAAS, E.V. 1990. Crop salt tolerance. pp. 262-304. *In*: K.K. Tanji (ed.). Agricultural salinity assessment and management. Am. Soc. Civil Eng. (ASCE). Manual & Reports on Engineering Practice 71. ASCE. New York, USA.
- MUNNS R., and D.P. SCHACHTMAN. 1993. Plant response to salinity: significance in relation to time. *In*: D.R. Buxton, R. Shibles, R.A. Forsberg, B.L. Blad, K.H. Asay, G.M. Paulsen and R.F. WILSON (eds.). International Crop Science I. Crop Science Society of America, Inv., Madison, Wisconsin, USA.
- NEUMANN, P.M., E. VAN VOLKENBURGH., and R. E. CLELAND. 1988. Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. *Plant Physiol.* 88: 233-237.
- NICOLAS, M.E., RANA MUNNS, A.B., SAMARA KOON., and R.M. GIFFORD. 1993. Elevated CO₂ improves the growth of wheat under salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 20: 349-360.
- PALACIOS V., O. y E. ACEVES. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Serie de Apuntes no. 15. Chapingo, México.
- RAWSON, H.M., M.J. LONG., and R. MUNNS. 1988. Growth and development in NaCl-treated plants I. Leaf Na⁺ and Cl⁻ concentrations do not determine gas exchange of leaf blades in barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 15: 519-527.
- SCHOLANDER, P.F., H.T. HAMMEL., E.D. BRADSTREET., and E. A. HEMMINGSEN. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.
- SILBERBUSH, M., and S.H. LIPS. 1988. Nitrogen concentration, ammonium/nitrate ratio and NaCl interaction in vegetative and reproductive growth of peanuts. *Physiol. Plant.* 74: 493-498.
- TANJI, K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. pp. 1-17. *In*: K.K. Tanji (ed.). Agricultural salinity assessment and management. Am. Soc. Civil Eng. (ASCE). Manual Reports on Engineering Practice 71. ASCE. New York, USA.
- WAGENET, R.J., R.R. RODRIGUEZ., W. F. COMPELL., and D.L. TURNER. 1983. Fertilizer and salty water effects on Phaseolus. *Agron. J.* 75: 161-166.
- YEO, A.R., and T.J. FLOWERS. 1983. Mechanisms of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding. *In*: R.C. Staples, and O.H. Toenniessen (eds). Salinity tolerance in plants. Strategies for Crop Improvement. John Wiley & Sons, New York, USA.

COMENTARIOS Y CARTAS AL EDITOR

Comentario sobre el uso correcto de algunas palabras

Dos problemas que con frecuencia se presentan en los artículos científicos en español son el uso incorrecto de algunas palabras y el abuso de ciertas expresiones. En este espacio comentaré ejemplos de esta situación:

- Con frecuencia se antepone los artículos el o un cuando se habla de porcentajes, por ejemplo: el 10% o un 10%, lo cual es incorrecto. El Diccionario de la Real Academia Española (1992) señala que un uso de la a es indicar "distribución o cuenta proporcional": uno a dos, a nueve por ciento. Como puede verse en esta cita, no se utiliza ningún artículo. Ramos (1975) señala que no se debe anteponer un a un porcentaje debido a que no produce un 7%, ni dos setes por ciento. Esto significa que cuando se hace mención de porcentajes no debe emplearse un 7% ni el 7%, sino simplemente 7%.
- Es común encontrar en los escritos científicos la expresión y/o, lo cual no se recomienda. Sobre este punto, Cohen (1994) señala: "Doble conjunción innecesaria en virtud de que la y y la o, solas, pueden dar a entender simultáneamente opción e inclusión, según el contexto". Menciona el siguiente ejemplo: si se lee en una receta "Para aplicarse en las manos o antebrazos", esto no significa que si se aplica en las manos, no debería aplicarse en los antebrazos, sino que puede aplicarse en las manos, en los antebrazos o en ambos lugares. Si se quisiera señalar que la aplicación es en una sola porción del cuerpo, se habría escrito: "Para aplicarse o en las manos o en los antebrazos". Si en lugar de la conjunción o utilizamos y, el significado no cambia: "Para aplicarse en las manos y en los antebrazos". Lo anterior es posible dado que la conjunción o no

sólo alude a incompatibilidad simultánea, sino que otras veces, o indica que los términos son equivalentes para designar con ellos una misma realidad (Alarcos, 1995).

- En ocasiones es necesario dar la ubicación geográfica del lugar en el cual se desarrolló el trabajo de investigación, en tales casos es común encontrar: "...a una altitud de 1200 msnm", construcción de la que podemos hacer dos observaciones. Primero, el vocablo altitud se refiere a la "altura de un punto de la tierra con relación al nivel del mar", por tal razón es redundante utilizar la expresión msnm; lo correcto sería: "... a una altitud de 1200 m". Segundo, se utiliza indiscriminadamente la expresión "msnm" para decir "metros sobre el nivel del mar" pero sin definir tal "vocablo", como si fuera su abreviatura o símbolo. En tal caso se recomienda señalar la definición de "msnm" la primera vez que se emplee en un texto; aunque en tal situación no se hablará de altitud, sino de altura en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- En algunos escritos científicos aparece la expresión "...período de tiempo", la cual es redundante dado que uno de los significados de la palabra período es "espacio de tiempo que incluye toda la duración de una cosa". Por ejemplo:
"..., poseen una capacidad productiva sustentable en periodos prolongados de tiempo..." (incorrecto).
"..., poseen una capacidad productiva sustentable en periodos prolongados..." (correcto).
Una expresión de la cual se hace un uso exagerado es muy. Es un adverbio que tiende a

meterse en todo (Cohen, 1994), algunas veces de manera innecesaria, razón por la cual es posible eliminarlo sin afectar el sentido de nuestro escrito. En otros casos, es posible sustituirlo con superlativos. Por ejemplo, en la oración:

“Es muy importante que lleguen a la clase muy temprano porque el tema que se va a presentar es muy difícil”,

es posible eliminar todos los muy sin afectar el sentido de la oración.

- Algo acerca del prefijo *ex*. Este vocablo, cuando se coloca delante de nombres o adjetivos de persona, significa que ésta ha dejado de ser lo que aquellos significan. En este caso se suele escribir separado del nombre o adjetivo, por ejemplo:

ex alumno, *ex* ministro, *ex* director, *ex* discípulo.

Es incorrecto unir el prefijo al nombre con un guión, por ejemplo:

ex-alumno, *ex-ministro*, *ex-director*, *ex-discípulo*.

- En algunos artículos aparecen expresiones como las siguientes:

- Se trabajó con cuatro suelos diferentes.
- El estudio constó de tres periodos diferentes.

En los dos casos anteriores, es obvio que si son cuatro suelos o tres periodos, estos son diferentes, por tal razón está de más la palabra “diferentes”.

- Un error que se comete con mucha frecuencia es el empleo de adjetivos en lugar de adverbios, por ejemplo:

Lo hizo fácil (incorrecto).
Lo hizo fácilmente (correcto).

- Dos palabras que frecuentemente se usan en los escritos científicos son: *limitante* y *repetitivo*, ambas no aparecen en el Diccionario de la Real Academia Española (1992). Considero que sería mejor utilizar los vocablos: “*limitativo*” y “*que se repite*” o “*repetido*”, según sea más conveniente.

- Un error común es el agregar un artículo cuando se menciona un país, principalmente cuando el nombre del país parece plural, aunque no sea. Por ejemplo:

“Los Estados Unidos desarrollan una agricultura intensiva” (incorrecto)

“Estados Unidos desarrolla una agricultura intensiva” (correcto)

Lo mismo ocurre con los nombres geográficos en plural. Sobre este punto, Ramos (1975) señala: “Aunque parezcan plurales ciertos nombres de pueblos y algunos vayan precedidos de artículos o de otra voz en este número, como Las Mesas, Dos Barrios, etc., estimanse del número singular porque, cualquiera que haya sido su origen, representan ya una sola población”.

BIBLIOGRAFIA

- ALARCOS LI, E. 1995. Gramática de la lengua española. Colección Nebrija Bello. Real Academia Española. Espasa-Calpe, Madrid, España.
- COHEN, S. 1994. Redacción sin dolor; aprenda a escribir con claridad y precisión. Planeta, México, D.F.
- RAMOS M., R. 1975. Manual para hablar bien y escribir mejor. Diana, México, D.F.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 1992. Diccionario de la lengua española. 21a. Edición. Espasa-Calpe, Madrid, España.
- SECO, M. 1986. Diccionario de dudas y dificultades de la lengua española. Espasa-Calpe, México, D.F.

Jorge Alvarado López

DIVISION III

La Terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. II. Cambio en algunas propiedades físicas y químicas del suelo.

**A. TURRENT F., S. URIBE G.,
N. FRANCISCO N., R. CAMACHO C.,
M. ESPINOSA R. y R. MORENO D.**

299

La Terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. III. Desempeño agronómico del cultivo doble del maíz en temporal.

**A. TURRENT F., S. URIBE G.,
N. FRANCISCO N. y R. CAMACHO C.**

317

DIVISION IV

Encalado y disponibilidad de fósforo y potasio en suelos ácidos.

**R. ZETINA L., L.J. CAJUSTE,
J. ALVARADO L., A. TRINIDAD S. y
L.L. LANDOIS P.**

338

Evaluación de abonos verdes en un clima semiárido del estado de Colima, México.

O. PEREZ-ZAMORA

347

Efecto de la incorporación de abonos verdes en la producción de melón en Colima.

**O. PEREZ ZAMORA,
O. LOPEZ-ARRIAGA y
M. OROZCO-SANTOS**

360

Aplicación de mejoradores químicos a un suelo calcimórfico con y sin cobertura plástica en la producción de melón.

**O. PEREZ-ZAMORA,
O. LOPEZ-ARRIAGA y
M. OROZCO-SANTOS**

368

Crecimiento del girasol en función de la salinidad y nitrógeno.

J.A. ESCALANTE E.

376

**COMENTARIOS
Y CARTAS
AL EDITOR**

Comentario sobre el uso correcto de algunas palabras.

J. ALVARADO L.

385