

ARTÍCULOS • ARTICLES

- Comparación de control natural y químico del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*. • Comparison of the chemical and natural control of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*.
Marco A. Reyes-Rosas, Jesús Loera-Gallardo y José I. López-Arroyo.
- Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. • Rate of dry matter accumulation of alfalfa in response to climatic variables.
Héctor Mario Quiroga Garza.
- Distinción de especies del género *Persea* mediante RAPD e ISSR de ADN¹. • Distinction of species of the genus *Persea* by RAPD and ISSR DNA markers¹.
Juan Carlos Reyes-Alemán, Ernestina Valadez-Moctezuma, Lisandro Simuta-Velázco, Alejandro Facundo Barrientos-Priego y Clemente Gallegos-Vázquez.
- Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. • Evaluation of native avocados in the northern region of Nuevo León, Mexico.
Efraín Acosta Díaz, Isidro Humberto Almeyda León e Ismael Hernández Torres.
- Respuesta del chile mirasol a la labranza reducida, enmiendas al suelo y acolchado plástico. • Response of Mirasol chili pepper to reduced tillage, soil amendments and plastic mulch.
Mario Domingo Amador-Ramírez, Rodolfo Velásquez-Valle, Blanca Isabel Sánchez-Toledano y Efraín Acosta-Díaz.
- Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y Tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo el método riego-sequia en Chihuahua. • Evaluation of the yield of common (*Phaseolus vulgaris* L.) and Tepary (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) beans with the irrigation-drought method in Chihuahua.
José Cruz Jiménez Galindo y Jorge Alberto Acosta Gallegos.
- Comparación de dos tipos de selección en poblaciones de maíces criollos. • Comparison of two types of selection in populations of native corn.
Gilberto Rodríguez Pérez, Francisco Zavala García, Adriana Gutiérrez Diez, José Elías Treviño Ramírez, Carmen Ojeda Zacarías y Alfredo de la Rosa Loera.
- Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el “Valle del Fuerte” Sinaloa, México. • Nutrition of potato crop (*Solanum tuberosum* L.) under climate variability in “Valle del Fuerte”, Sinaloa, Mexico.
Ernesto Sifuentes Ibarra, Waldo Ojeda Bustamante, Cándido Mendoza Pérez, Jaime Macías Cervantes, Jesús del Rosario Rúelas Islas y Marco Antonio Inzunza Ibarra.
- Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de compost de caña. • Yield of *Jatropha curcas* L. inoculated with mycorrhiza and fertilized with sugarcane compost.
Brenda Gabriela Díaz-Hernández, Juan Francisco Aguirre-Medina y Víctor Hugo Díaz-Fuentes.
- Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. • Comparison of vegetation indexes in the Sonoran desert incorporating soil and moisture indicators and application to estimates of LAI.
Víctor M. Rodríguez-Moreno y Stephen H. Bullock.
- Proyección económica de unidades representativas de producción en caprinos en la Comarca Lagunera, México. • Economic projection of representative production units of caprine cattle in the Comarca Lagunera region, Mexico.
Ignacio Orona Castillo, Dora Ma. Sangerman-Jarquín, Jacob Antonio-González, Enrique Salazar Sosa, José Luis García Hernández, Agustín Navarro-Bravo y Rita Schwentesius de Rindermann.

NOTAS DE INVESTIGACIÓN • INVESTIGATION NOTES

- Competencia entre aislamientos de *Septoria tritici* Rog. Ex. Desm., en trigos harineros (*Triticum aestivum* L.). • Competition between isolates of *Septoria tritici* Rog. Ex Desm. in bread wheat (*Triticum aestivum* L.).
Santos Gerardo Leyva Mir, Emma Zavaleta Mejía, Lucy Gilchrist Saavedra, Mireille Khairallah y Luis Antonio Mariscal Amaro.
- Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. • Exploring native corn germplasm in central and southern Tamaulipas, Mexico.
Sergio Castro Nava, José Alberto Lopez Santillan, José Agapito Pecina Martínez, Ma. del Carmen Mendoza Castillo y César A. Reyes Méndez.

Página

- 495-501
503-516
517-529
531-542
543-555
557-567
569-583
585-597
599-610
611-623
625-636
637-644
645-653

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

Edición Bilingüe • Bilingual Edition

**inifap**Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol. 4 Núm. 4 p. 495-653 16 de mayo - 29 de junio, 2013

Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol. 4 Núm. 4 p. 495-653 16 de mayo - 29 de junio, 2013

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

ISSN: 2007-0934

EDITORIA EN JEFA
Dora Ma. Sangerman-Jarquín

EDITOR ASOCIADO
Agustín Navarro Bravo

EDITORES CORRECTORES
Dora Ma. Sangerman-Jarquín
Agustín Navarro Bravo

COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

Agustín Giménez Furest. INIA-Uruguay

Aixa Ofelia Rivero-Guerra. Centro Europeo de Estadística Aplicada. España

Alan Anderson. Universite Laval-Quebec. Canadá

Álvaro Rincón-Castillo. Corporación Colombiana de Investigación. Colombia

Arístides de León. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. El Salvador C. A.

Bernardo Mora Brenes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Costa Rica

Carlos J. Bécquer. Ministerio de Agricultura. Cuba

Carmen de Blas Beorlegui. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. España

César Azurdia. Universidad de San Carlos. Guatemala

Charles Francis. University of Nebraska. EE. UU.

Daniel Debouk. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Puerto Rico

David E. Williams. Biodiversity International. Italia

Elizabeth L. Villagra. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina

Elvira González de Mejía. University of Illinois. EE. UU.

Héctor Huerto Viscarra. ACUEDI-Perú

Hugh Pritchard. The Royal Botanic Gardens, Kew & Wakehurst Place. Reino Unido

Ignacio de los Ríos Carmenado. Universidad Politécnica de Madrid. España

James Beaver. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico

James D. Kelly. University State of Michigan. EE. UU.

Javier Romero Cano. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. España

José Sangerman-Jarquín. University of Yale. EE. UU.

Juan R. Cuadrado-Roura. Universidad de Alcalá de Henares. España

Ma. Asunción Martín Lau. Real Sociedad Geográfica-Madrid. España

Ma. Luisa Peinado-Gracia. Universidad de Alcalá de Henares. España

María Margarita Hernández Espinosa. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba

Marina Basualdo. UNCPBA. Argentina

Moisés Blanco Navarro. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua

Raymond Jongshaap. Wageningen University & Research. Holanda

Silvia I. Rondon. University of Oregon. EE. UU.

Steve Beebe. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Puerto Rico

Valeria Gianelli. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina

Vic Kalnins. University of Toronto. Canadá

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 4, Núm. 4, 16 de mayo - 29 de junio 2013. Es una publicación sesquimensual editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Progreso No. 5. Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, D. F., México. C. P. 04010. www.inifap.gob.mx. Distribuida por el Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Teléfono y fax: 01 595 9212681. Editora responsable: Dora Ma. Sangerman-Jarquín. Reserva de derecho al uso exclusivo: 04-2010-012512440200-102. ISSN: 2007-0934. Licitud de título. En trámite. Licitud de contenido. En trámite. Ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Domicilio de impresión: Imagen Digital. Prolongación 2 de marzo, Núm. 22. Texcoco, Estado de México. C. P. 56190. (juancimagen@hotmail.com). La presente publicación se terminó de imprimir en junio de 2013, su tiraje constó de 1 000 ejemplares.

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

ISSN: 2007-0934

EDITORIA EN JEFA
Dora Ma. Sangerman-Jarquín

EDITOR ASOCIADO
Agustín Navarro Bravo

EDITORES CORRECTORES
Dora Ma. Sangerman-Jarquín
Agustín Navarro Bravo

COMITÉ EDITORIAL NACIONAL

Alfonso Larqué Saavedra. Centro de Investigación Científica de Yucatán

Alejandra Covarrubias Robles. Instituto de Biotecnología de la UNAM

Andrés González Huerta. Universidad Autónoma del Estado de México

Antonieta Barrón López. Facultad de Economía de la UNAM

Antonio Turrent Fernández. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Aurelio León Merino. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Bram Govaerts. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

Daniel Claudio Martínez Carrera. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas-Campus Puebla

Delfina de Jesús Pérez López. Universidad Autónoma del Estado de México

Demetrio Fernández Reynoso. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Ernesto Moreno Martínez. Unidad de Granos y Semillas de la UNAM

Esperanza Martínez Romero. Centro Nacional de Fijación de Nitrógeno de la UNAM

Eugenio Guzmán Soria. Instituto Tecnológico de Celaya

Froylán Rincón Sánchez. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Guadalupe Xoconostle Cázares. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

Ignacio Islas Flores. Centro de Investigación Científica de Yucatán

Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez. Universidad Autónoma Chapingo

Jesús Salvador Ruiz Carvajal. Universidad de Baja California-Campus Ensenada

José F. Cervantes Mayagoitia. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

June Simpson Williamson. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

Leobardo Jiménez Sánchez. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Octavio Paredes López. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

Rita Schwentesius de Rindermann. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y
Tecnológicas de la Agroindustria y Agricultura Mundial de la UACH

La Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas es una publicación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Tiene como objetivo difundir los resultados originales derivados de las investigaciones realizadas por el propio Instituto y por otros centros de investigación y enseñanza agrícola de la república mexicana y otros países. Se distribuye mediante canje, en el ámbito nacional e internacional. Los artículos de la revista se pueden reproducir total o parcialmente, siempre que se otorguen los créditos correspondientes. Los experimentos realizados puede obligar a los autores(as) a referirse a nombres comerciales de algunos productos químicos. Este hecho no implica recomendación de los productos citados; tampoco significa, en modo alguno, respaldo publicitario.

La Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas está incluida en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Indizada en: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe (REDALyC), Biblioteca electrónica SciELO-México, The Essential Electronic Agricultural Library (TEEAL-EE. UU.), Scopus, Dialnet, Agrindex, Bibliography of Agriculture, Agrinter y Periódica.

Reproducción de resúmenes en: Field Crop Abstracts, Herbage Abstracts, Horticultural Abstracts, Review of Plant Pathology, Review of Agricultural Entomology, Soils & Fertilizers, Biological Abstracts, Chemical Abstracts, Weed Abstracts, Agricultural Biology, Abstracts in Tropical Agriculture, Review of Applied Entomology, Referativnyi Zhurnal, Clase, Latindex, Hela, Viniti y CAB International.

Portada: *Diaphorina citri*.

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

ISSN: 2007-0934

EDITORIA EN JEFA
Dora Ma. Sangerman-Jarquín

EDITOR ASOCIADO
Agustín Navarro Bravo

EDITORES CORRECTORES
Dora Ma. Sangerman-Jarquín
Agustín Navarro Bravo

ÁRBITROS DE ESTE NÚMERO

Carlos Gustavo Martínez Rueda. Universidad Autónoma del Estado de México

Dolores Graciela Ávila Quezada. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.

Efraín Acosta Díaz. INIFAP

Eugenio Carrillo Ávila. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Gustavo Almaguer Vargas. Universidad Autónoma Chapingo

Humberto Ibarra Gil. Universidad Autónoma de Nuevo León

José Alberto Quintero Benítez. Universidad Autónoma de Sinaloa

Lorenzo Armando Aceves Navarro. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Martha Blanca Guadalupe Irizar Garza. INIFAP

Mariano Mendoza Elos. Instituto Tecnológico de Roque

Mónica Guadalupe Lozano Contreras. INIFAP

Oscar Arath Grajeda Cabrera. INIFAP

Pablo Preciado Rangel. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Ramona Pérez Leal. Universidad Autónoma de Chihuahua

Rigoberto Vázquez Alvarado. Universidad Autónoma de Nuevo León

Santiago Chacón Zapata. Instituto de Ecología

Sergio Alfredo Rodríguez Herrera. Instituto Mexicano del Maíz

Víctor Barradas Miranda. Universidad Nacional Autónoma de México

Víctor Manuel Zamora Villa. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Vicente Arturo Velasco Velasco. Instituto Tecnológico Agropecuario

CONTENIDO ◆ CONTENTS

ARTÍCULOS ◆ ARTICLES	Página
Comparación de control natural y químico del psílido asiático de los cítricos <i>Diaphorina citri</i> . ◆ Comparison of the chemical and natural control of Asian citrus psyllid <i>Diaphorina citri</i> . Marco A. Reyes-Rosas, Jesús Loera-Gallardo y José I. López-Arroyo.	495-501
Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. ◆ Rate of dry matter accumulation of alfalfa in response to climatic variables. Héctor Mario Quiroga Garza.	503-516
Distinción de especies del género <i>Persea</i> mediante RAPD e ISSR de ADN ¹ . ◆ Distinction of species of the genus <i>Persea</i> by RAPD and ISSR DNA markers ¹ . Juan Carlos Reyes-Alemán, Ernestina Valadez-Moctezuma, Lisandro Simuta-Velázco, Alejandro Facundo Barrientos-Priego y Clemente Gallegos-Vázquez.	517-529
Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. ◆ Evaluation of native avocados in the northern region of Nuevo León, Mexico. Efraín Acosta Díaz, Isidro Humberto Almeyda León e Ismael Hernández Torres.	531-542
Respuesta del chile mirasol a la labranza reducida, enmiendas al suelo y acolchado plástico. ◆ Response of Mirasol chili pepper to reduced tillage, soil amendments and plastic mulch. Mario Domingo Amador-Ramírez, Rodolfo Velásquez-Valle, Blanca Isabel Sánchez-Toledano y Efraín Acosta-Díaz.	543-555
Rendimiento de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y Tépari (<i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray) bajo el método riego-sequia en Chihuahua. ◆ Evaluation of the yield of common (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) and Tepary (<i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray) beans with the irrigation-drought method in Chihuahua. José Cruz Jiménez Galindo y Jorge Alberto Acosta Gallegos.	557-567
Comparación de dos tipos de selección en poblaciones de maíces criollos. ◆ Comparison of two types of selection in populations of native corn. Gilberto Rodríguez Pérez, Francisco Zavala García, Adriana Gutiérrez Diez, José Elías Treviño Ramírez, Carmen Ojeda Zacarías y Alfredo de la Rosa Loera.	569-583
Nutrición del cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) considerando variabilidad climática en el “Valle del Fuerte” Sinaloa, México. ◆ Nutrition of potato crop (<i>Solanum tuberosum</i> L.) under climate variability in “Valle del Fuerte”, Sinaloa, Mexico. Ernesto Sifuentes Ibarra, Waldo Ojeda Bustamante, Cándido Mendoza Pérez, Jaime Macías Cervantes, Jesús del Rosario Rúelas Islas y Marco Antonio Inzunza Ibarra.	585-597
Rendimiento de <i>Jatropha curcas</i> L. inoculada con micorriza y aplicación de compost de caña. ◆ Yield of <i>Jatropha curcas</i> L. inoculated with mycorrhiza and fertilized with sugarcane compost. Brenda Gabriela Díaz-Hernández, Juan Francisco Aguirre-Medina y Víctor Hugo Díaz-Fuentes.	599-610
Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. ◆ Comparison of vegetation indexes in the Sonoran desert incorporating soil and moisture indicators and application to estimates of LAI. Víctor M. Rodríguez-Moreno y Stephen H. Bullock.	611-623

CONTENIDO ◆ CONTENTS

Página

Proyección económica de unidades representativas de producción en caprinos en la Comarca Lagunera, México. ♦ Economic projection of representative production units of caprine cattle in the Comarca Lagunera region, Mexico.

Ignacio Orona Castillo, Dora Ma. Sangerman-Jarquín, Jacob Antonio-González, Enrique Salazar Sosa, José Luis García Hernández, Agustín Navarro-Bravo y Rita Schwentesius de Rindermann.

625-636

NOTAS DE INVESTIGACIÓN ◆ INVESTIGATION NOTES

Competencia entre aislamientos de *Septoria tritici* Rog. Ex. Desm., en trigos harineros (*Triticum aestivum* L.). ♦ Competition between isolates of *Septoria tritici* Rog. Ex Desm. in bread wheat (*Triticum aestivum* L.).

Santos Gerardo Leyva Mir, Emma Zavaleta Mejía, Lucy Gilchrist Saavedra, Mireille Khairallah y Luis Antonio Mariscal Amaro.

637-644

Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. ♦ Exploring native corn germplasm in central and southern Tamaulipas, Mexico.

Sergio Castro Nava, José Alberto Lopez Santillan, José Agapito Pecina Martínez, Ma. del Carmen Mendoza Castillo y César A. Reyes Méndez.

645-653

Comparación de control natural y químico del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri**

Comparison of the chemical and natural control of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*

Marco A. Reyes-Rosas^{1§}, Jesús Loera-Gallardo¹ y José I. López-Arroyo²

¹Campo Experimental Río Bravo- INIFAP. A. P. 172. Río Bravo, Tamaulipas, México. Tel. 01 8999341046 C. P. 88900. ²Campo Experimental General Terán-INIFAP. Carretera Montemorelos China, Cal. Exhacienda las Anacuas, General Terán, Nuevo León. C. P. 67400. Tel. 01 8262670260. §Autor para correspondencia: reyes.marco@inifap.gob.mx

Resumen

La efectividad del insecticida ometoato (Folimat® 1000) y de enemigos naturales para controlar al psílido asiático de los cítricos, fue comparada en Río Bravo, Tamaulipas, durante 2010. Los resultados indicaron que ometoato fue más efectivo y no se observaron ninfas o adultos a las 264 h después de la aplicación; por otra parte, a las 72 h en el tratamiento de enemigos naturales, la población de ninfas fue reducida y similar al tratamiento con ometoato. En el testigo absoluto, la población de ninfas se incrementó a más 100% a las 264 h.

Palabras clave: cítricos, coccinellidae, depredadores, enemigos.

Introducción

Una de las plagas más destructivas de árboles de cítricos en el mundo es el psílido asiático *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae); que en estado adulto, es un eficiente vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter* spp (Xu *et al.*, 1998; Garnier y Bové, 2000), agente causal del "huanglongbing o greening", enfermedad que paulatinamente conduce a la muerte del árbol. Los daños

Abstract

The effectiveness of the insecticide omethoate (Folimat® 1000) and of the native natural enemies of the Asian citrus psyllid to control this pest was compared in Río Bravo, Tamaulipas, in 2010. The results indicated that omethoate was more effective, as no nymphs or adults were observed 264 h after its application; on the other hand, after 72 h of the treatment with natural enemies, the nymphal population was reduced to levels similar to those achieved with the omethoate treatment. With the absolute control, the nymphal population increased over 100% after 264 h.

Key words: beneficial organisms, citrus, coccinellidae, native natural enemies, predators.

Introduction

One of the most destructive pests of citrus trees is the Asian psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), which, in the adult stage, is an efficient vector of the bacterium *Candidatus Liberibacter* spp (Xu *et al.*, 1998; Garnier and Bové, 2000), the causative agent of "huanglongbing or greening", a disease that gradually leads to the death of the tree. The damages caused by the nymphs occur when nymph

* Recibido: septiembre de 2012
Aceptado: abril 2013

en la etapa de ninfa, se presentan cuando las densidades de ninfas son altas, provocando la muerte de los nuevos brotes, debido a la alta cantidad de savia que succionan de tallos, pecíolos y hojas en formación (Michaud, 2004; Reyes *et al.*, 2009). *D. citri* se ha dispersado a muchos países productores de cítricos, entre ellos México, donde se detectó en 2002 y actualmente distribuida en casi todas las zonas productoras del país. En Tamaulipas los reportes de su presencia datan de 2004 (Coronado *et al.*, 2004) y desde ese mismo año se ha presentado en predios de cítricos en Río Bravo, Tamaulipas.

La presencia de enemigos naturales de ninfas de *D. citri* ha sido reportada en diversos trabajos realizados en México. Tradicionalmente, el norte de Tamaulipas se ha caracterizado por la presencia de enemigos naturales nativos que controlan de manera natural a diversas plagas de importancia agrícola (Reyes, 2003). La presencia de enemigos naturales de *D. citri* en Tamaulipas se ha reportado desde 2003 (Coronado *et al.*, 2003; Gaona *et al.*, 2009; Reyes *et al.*, 2009). Sin embargo, no se ha dimensionado el impacto que estos organismos benéficos pudiesen tener en la supresión de la plaga. El objetivo de este trabajo fue comparar el impacto de los enemigos naturales nativos versus el insecticida ometoato, sobre poblaciones de ninfas de *D. citri*.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en Río Bravo, Tamaulipas ($25^{\circ} 53' 40.3''$ latitud norte y $98^{\circ} 07' 08.9''$ longitud oeste), en julio de 2010, en una huerta de limón mexicano *Citrus lemon* (L.) Burm, de dos años de edad, en un arreglo de plantación de 4×4 m. Para cada tratamiento se seleccionaron diez brotes de 15 ± 5 cm de longitud, infestados por ninfas de *D. citri* de diversos instares (Figura 1).

Se establecieron tres tratamientos de acuerdo a lo siguiente:

Impacto de enemigos naturales nativos sobre ninfas de *D. citri*: se seleccionaron 30 brotes al azar, infestados por *D. citri*. Los brotes fueron marcados con etiquetas de papel de 4×5 cm., atadas con hilo de algodón y se dejaron expuestos a la acción de los enemigos naturales nativos de las ninfas presentes en el cultivo. En cada uno de ellos, se identificó y registró el número de enemigos naturales por día.

densities are high, killing new growth due to the high amount of sap sucked from stems, petioles and forming leaves (Michaud, 2004; Reyes *et al.*, 2009). *D. citri* has spread to many citrus-producing countries, including Mexico, where it was detected in 2002 and is currently distributed in almost all areas of the country. The reports of its presence in Tamaulipas date back to 2004 (Coronado *et al.*, 2004); it has been present in citrus farms in Rio Bravo, Tamaulipas since that year.

The presence of natural enemies of the nymphs of *D. citri* has been reported in several studies conducted in Mexico. Traditionally, northern Tamaulipas has been characterized by the presence of native natural enemies of various pests of agricultural importance that naturally control them (Reyes, 2003). The presence of natural enemies of *D. citri* in Tamaulipas has been reported since 2003 (Coronado *et al.*, 2003; Gaona *et al.*, 2009; Reyes *et al.*, 2009). However, the impact that these beneficial organisms could have in the suppression of this pest has not been evaluated before. The aim of this study was to compare the impact of native natural enemies versus the insecticide omethoate on nymphal populations of *D. citri*.

Materials and methods

The study was conducted in Rio Bravo, Tamaulipas ($25^{\circ} 53' 40.3''$ N and $98^{\circ} 07' 08.9''$ W), in July 2010, in an orchard of two years old Mexican lemon *Citrus lime* (L.) Burm, in a 4×4 m planting arrangement. Ten shoots of 15 ± 5 cm in length were selected for each treatment, all infested with nymphs of *D. citri* of several instars (Figure 1).



Figura 1. Brote de limón mexicano (*Citrus lemon*) infestado de ninfas de *Diaphorin citri*. Río Bravo, Tamaulipas, julio 2010.

Figure 1. Shoot of Mexican lemon (*Citrus lemon*) infested with nymphs of *Diaphorin citri*. Río Bravo, Tamaulipas, July 2010.

Efectividad del insecticida ometoato: se seleccionaron 30 brotes al azar, infestados por *D. citri*. Se utilizó el insecticida ometoato a dosis de 250 g de i.a por ha, mezclado con 800 ml del adherente Bionex®. Se realizó una sola aplicación con aspersora manual. Inmediatamente después de la aplicación, los brotes fueron cubiertos totalmente con porciones de tela de organza de 40 cm de largo por 18 de ancho atada en sus extremos para impedir la entrada de depredadores, parasitoides, evitar la salida de las ninfas y colectar los insectos muertos (Figura 2). Los adultos presentes no fueron eliminados.



Figura 2. Brote infestado de ninfas de *Diaphorina citri* cubierto con tela de organza. Río Bravo, Tamaulipas, julio 2010.

Figure 2. Shoot infested with nymphs of *Diaphorina citri* covered with organza fabric. Río Bravo, Tamaulipas, July 2010.

Testigo absoluto: se seleccionaron 30 brotes al azar, infestados por *D. citri*. Los brotes seleccionados fueron inspeccionados para eliminar cualquier enemigo natural. Los enemigos naturales presentes en los brotes fueron separados mediante un pincel del Núm. 0, para no lastimar o tumbar del brote a las ninfas de *D. citri*. Posteriormente cada brote, se cubrió totalmente con porciones de tela de organza, como previamente se describió en el punto 2 (Figura 2).

En todos los tratamientos se registró la mortalidad o incremento de las poblaciones de ninfas a las 24, 72, 120, 168, 216 y 264 h. Estos datos fueron analizados estadísticamente en análisis de un diseño de bloques al azar con separación de medias bajo la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Resultados

En el tratamiento de los enemigos naturales nativos, la población del psílido asiático disminuyó a 88% a las 72 h, y continuó disminuyendo a menos de 1% al final de la

Three treatments were established according to the following: Impact of native natural enemies on nymphs of *D. citri*: 30 shoots infested by *D. citri* were selected randomly. The shoots were marked with paper labels of 4 x 5 cm, tied with cotton thread and left exposed to the action of the native natural enemies of the nymphs present in them. The natural enemies of the pest present on the shoots were identified, quantified and recorded each day.

Effectiveness of insecticide omethoate: 30 shoots infested by *D. citri* were selected randomly. Omethoate insecticide was used in doses of 250 g of i.a. per hectare, mixed with 800 ml of adherent Bionex®. A single application with a manual sprayer was performed. Immediately after the application, the shoots were completely covered with organza fabric pieces 40 cm long by 18 wide, tied at the ends to prevent the entry of predators and parasitoids, prevent the escape of the nymphs and collect the dead insects (Figure 2). The adults present were not eliminated.

Absolute control: 30 shoots infested by *D. citri* were selected randomly. The selected shoots were inspected to remove any natural enemies. The natural enemies present in the shoots were removed with a No. 0 brush in order to avoid hurting or knocking the nymphs out of *D. citri*. Afterwards, each shoot was completely covered with organza fabric pieces, as previously described in point 2 (Figure 2).

In all treatments, the mortality or increase of nymphal populations was recorded at 24, 72, 120, 168, 216 and 264 h. These data were analyzed statistically using a randomized block design with mean separation using the Tukey test ($\alpha=.05$).

Results

In the treatment with the native natural enemies, the Asian psyllid population decreased to 88% at 72 h and continued to decline to less than 1% at the end of the evaluation at 264 h (Figure 3); as a result, the number of predators also decreased, due to the lack of food, from one predator for every 2 shoots at 72 h to one predator for every 4 shoots (Figure 4). There was no statistical difference with the insecticide treatment at 72 h. The predator species with the highest presence were four species of (Coccinellidae: Coleoptera): *Cyclonedaa sanguinea* (L.), *Harmonia axyridis* (Pallas), *Olla abdominalis* (Mulsant) and *Cyclonedaa* spp.;

evaluación a las 264 h (Figura 3); como consecuencia, por la falta de alimento, el número de depredadores también disminuyó de un depredador cada 2 brotes, a las 72 h hasta un depredador cada cuatro brotes (Figura 4). Por otra parte no hubo diferencias estadísticas con el tratamiento insecticida a las 72 h. Las especies de depredadores con mayor presencia fueron cuatro especies de (Coccinellidae: Coleoptera): *Cyclonedda sanguinea* (L.), *Harmonia axyridis* (Pallas), *Olla abdominalis* (Mulsant) y *Cyclonedda* spp.; y *Brachygastra mellifica* (Say) (Hymenoptera: Vespidae). Otros insectos con menor incidencia fueron el *Chrysopidae* (Neuroptera): *Chrysoperla carnea* (Stephens) y el Coccinelliade: *Coleomegilla maculata* De Geer. No se detectaron ninfas parasitadas.

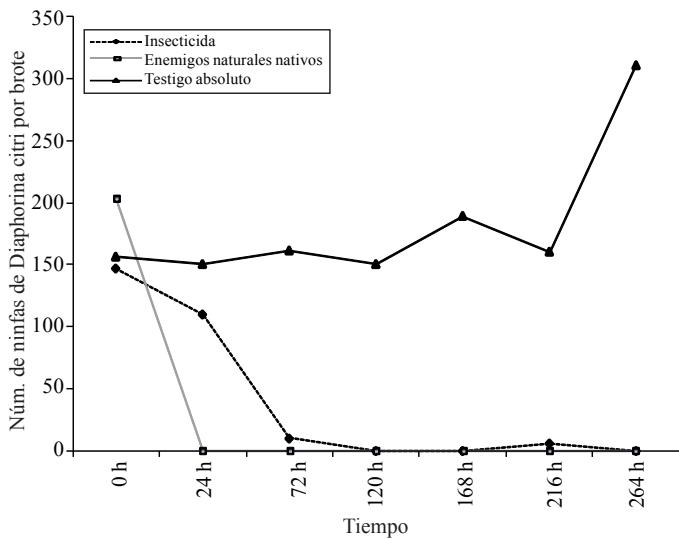


Figura 3. Respuesta de ninfas de *Diaphorina citri* a dos tratamientos de control y un testigo absoluto. Río Bravo, Tamaulipas, julio 2010.

Figure 3. Response of *Diaphorina citri* nymphs to two control treatments and one absolute control. Río Bravo, Tamaulipas, July 2010.

Determinación de la efectividad del insecticida omethoato: el insecticida provocó 100% de mortalidad a las 24 h y fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos en las primeras 48 h (Figura 3). No se presentaron ninfas ni adultos del psílido asiático durante los subsecuentes muestreos.

Testigo absoluto: la población de ninfas se mantuvo estable las primeras 72 h; sin embargo, se presentó un incremento poblacional 30% a las 168 h, y 105% al final de la prueba. En este tratamiento, a diferencia de los dos anteriores, la densidad poblacional marchito completamente al brote y las hojas inferiores quedaron cubiertas de fumagina.

also *Brachygastra mellifica* (Say) (Hymenoptera: Vespidae). Other insects with lower incidence were the Chrysopidae (Neuroptera): *Chrysoperla carnea* (Stephens) and the Coccinelliade: *Coleomegilla maculata* (De Geer). No parasitized nymphs were detected.

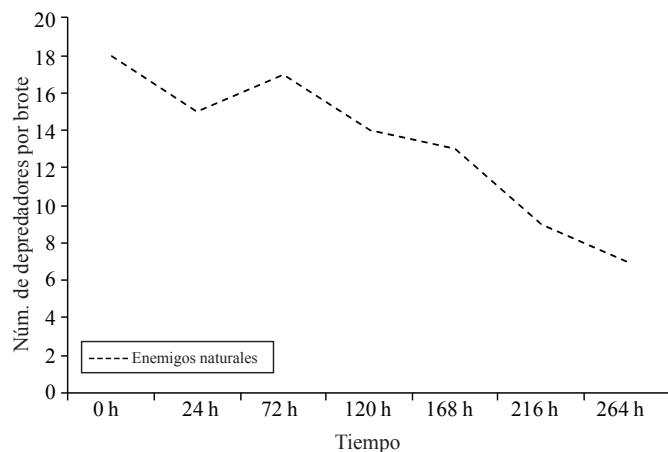


Figura 4. Población promedio de enemigos naturales de *Diaphorina citri* presentes en 30 brotes de limón, en Río Bravo, Tamaulipas, julio 2010.

Figure 4. Average population of natural enemies of *Diaphorina citri* present in 30 lemon shoots in Río Bravo, Tamaulipas, July 2010.

Determination of the effectiveness of the insecticide omethoato: the insecticide caused 100% mortality at 24 h and was statistically different from the other treatments in the first 48 h (Figure 3). There were no nymphs or adult psyllids on subsequent samplings.

Absolute control: the nymphal population was stable during the first 72 h, but it increased 30% at 168 h, and 105% at the end of the test. With this treatment, unlike the previous two, the population density completely withered the shoots, and the lower leaves were covered with sooty mold.

Discussion

Predators and parasitoids are typical regulators of this pest, since they act in a density-dependent way and produce a stable and permanent suppression (Rodríguez *et al.*, 2000), whereas insecticides reduce pest populations only temporarily and cause the destruction of its natural enemies (Trichilo and Wilson, 1993; Llorens, 2007), and was the case with the treatment with the insecticide omethoato,

Discusión

Los depredadores y parasitoides son típicamente reguladores, ya que actúan en forma densodependiente y hacen que la supresión sea estable y permanente (Rodríguez *et al.*, 2000), mientras que los insecticidas sólo reducen las poblaciones plaga temporalmente y producen la destrucción de los enemigos naturales (Trichilo y Wilson, 1993; Llorens, 2007), como en el tratamiento con el insecticida ometoato, el cual, desafortunadamente, en todos los brotes tratados, causó la mortalidad total de los enemigos naturales presentes, como larvas y adultos del grupo *Coccinellidae*, *Chrysopidae* y *Vespidae*, además de otros insectos benéficos como los polinizadores, coincidiendo con otros estudios (Gary y Lorenzen, 1989; Perveen *et al.* 2000). Croft (1990) señala que la mayoría de los enemigos naturales son más susceptibles a los productos químicos que las plagas.

El aumento de la población de ninfas en el testigo absoluto (Figura 3), se vio favorecido por que la tela de organza impidió la entrada de los depredadores naturales; permitiendo el desarrollo normal de ninfas hasta alcanzar su estado adulto, lo que propicio una nueva generación de ninfas. Metcalf y Luckmann (1982); Huffaker (1985); Trichilo y Wilson (1993), mencionan que la falta de enemigos naturales es una de las principales causas por las que un insecto se convierte en plaga.

Económicamente el manejo de los enemigos naturales de *D. citri* podría reducir substancialmente los costos por concepto de control del psílido asiático, la actual y mayor amenaza en la citricultura de México, debido a que es vector de la bacteria *Candidatus liberibacter* spp., causante del "Huanglongbing" o dragón amarillo de los cítricos, una enfermedad muy devastadora, incluso en mayor grado a la causada por el virus de la tristeza de los cítricos (da Graca, 1991; da Graca y Korsten, 2004; Halbert y Manjunath, 2004). Los resultados obtenidos del presente ensayo, sugieren que para suprimir a las poblaciones de ninfas de psílido asiático es necesario la presencia de un depredador cada dos brotes.

En laboratorio, adultos de *H. axyridis* consumieron entre 56 y 89 ninfas de *D. citri* de diversos instares por día, mientras que *Cycloneda sanguinea* consumió entre 28 y 43.

which in all treated shoots caused total mortality of the natural enemies of *D. citri*, such as larvae and adults of the Coccinellidae, Chrysopidae and Vespidae groups, and other beneficial insects such as pollinators, coinciding with other studies (Gary and Lorenzen, 1989; Perveen *et al.*, 2000). Croft (1990) points out that most natural enemies are more susceptible to chemical products than the pests.

The increasing population of nymphs in the absolute control (Figure 3) was favored by the fact that the organza fabric prevented the entry of their natural predators, allowing the normal development of the nymphs until they reached the adult stage, thus fostering a new generation of nymphs. Metcalf and Luckmann (1982); Huffaker (1985) and Trichilo and Wilson (1993) mention that the lack of natural enemies is one of the main reasons why insects become pests.

In economic terms, the management of the natural enemies of *D. citri* could substantially reduce the costs of controlling the Asian psyllid, currently the greatest threat to the citrus industry in Mexico because it is vector of the bacterium *Candidatus Liberibacter* spp., which causes the "Huanglongbing" or citrus yellow dragon, a very devastating disease, even more than the disease caused by the citrus tristeza virus (da Graca, 1991; da Graca and Korsten, 2004; Halbert and Manjunath, 2004). The results of this assay suggest that the presence of a predator for every two shoots is needed to suppress the nymphal populations of the Asian psyllid.

In the laboratory, adults of *H. axyridis* consumed between 56 and 89 nymphs of *D. citri* of several instars per day, while *Cycloneda sanguinea* consumed between 28 and 43.

Species such as *C. sanguinea* and *H. axyridis* (Figure 5), are a promising alternative for mass breeding for field release; these species has been confirmed as pest control agents of other Hemiptera such as aphids, because the larvae and adults are voracious predators, have a high scattering capacity and are easy to reproduce massively (Ferran *et al.* 1996; Osawa, 2000; Koch, 2003). More than 18 million individuals of *H. axyridis* and 385000 of *C. sanguinea* were released in southeastern Mexico in the period 1999-2002 to control the brown citrus aphid *Toxopterna citricida* Kirkaldy, vector of the citrus tristeza virus (CTV) (Munguia 2002, López-Arroyo *et al.*, 2003).

Especies como *C. sanguinea* y *H. axyridis* (Figura 5), constituyen una alternativa promisoria para realizar crías masivas para su liberación en campo; estas especies han sido confirmada como agente de control de plagas de otros Hemípteros como los áfidos, debido a que las larvas y adultos son voraces depredadores, presentan gran capacidad de dispersión y son fáciles de reproducir masivamente (Ferran *et al.*, 1996; Osawa, 2000; Koch, 2003). En el sureste de México, se liberaron más de 18 millones de individuos de *H. axyridis* y 385 000 de *C. sanguinea* de estos agentes de control biológico en el periodo de 1999 a 2002, para el control del pulgón café de los cítricos *Toxoptera citricida* Kirkaldy, vector del virus de la tristeza de los cítricos (VTC) (Munguía 2002, López-Arroyo *et al.* 2003a).

Conclusiones

El insecticida ometoato fue efectivo para el control de las ninfas y evitó una reinfestación de la plaga al menos durante 264 h.

Los enemigos naturales nativos son capaces de suprimir de manera natural las poblaciones de ninfas de *D. citri*.

Comparativamente, la acción de los enemigos naturales fue muy similar al tratamiento insecticida.

Se cuantificó un enemigo natural cada dos brotes, lo que pudiera sugerir una posible dosis de liberación de enemigos naturales para el control de esta plaga.

Los insectos con mayor potencial para el control biológico de ninfas *D. citri* en Tamaulipas, tanto por su potencial producción masiva, como por su presencia en forma natural, son las catarinitas *Cycloneda sanguinea* y *Harmonia axyridis*, los cuales representaron más 60% del total de depredadores presentes.

Agradecimientos

Los fondos para la presente investigación fueron provistos por el Proyecto “Manejo de la enfermedad del Huanglongbing (HLB) mediante el control de poblaciones del vector *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae)”, FONSEC SAGARPA-CONACYT número 2009-108591.

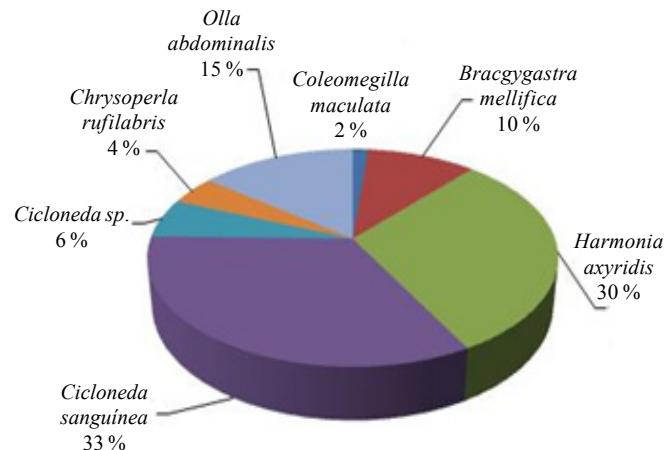


Figura 5. Proporción de enemigos naturales depredadores de *Diaphorina citri* en Río Bravo, Tamaulipas, julio 2010.

Figure 5. Proportion of natural predatory enemies of *Diaphorina citri* in Río Bravo, Tamaulipas, in July 2010.

Conclusions

The insecticide omethoate was effective for the control of nymphs and impeded a pest reinfestation for at least 264 h.

The native natural enemies are able to naturally suppress the nymphal populations of *D. citri*.

In comparison, the action of the natural enemies was very similar to the insecticide treatment.

We counted one natural enemy for every two shoots, which could suggest a possible release dose of natural enemies to control this pest.

The most promising insects for the biological control of nymphs of *D. citri* in Tamaulipas, both for their potential mass production, and their natural presence, are the *Cycloneda sanguinea* and *Harmonia axyridis* beetles, which accounted for over 60% of all predators present.

End of the English version



Literatura citada

- Coronado, J. M.; Ruiz, E.; Myartseva, S. N. y Gaona, E. 2003. *Tamarixia* sp., (Hymenoptera: Eulophidae) parasitoide del psílido asiático de los cítricos en Tamaulipas, México. In: Memorias Del XXVI Congreso Nacional de Control Biológico, Sociedad Mexicana de Control Biológico. Guadalajara, Jalisco, México. 71-73 p.

- Croft, B. A. 1990. Arthropod biological control agents and pesticides. J. Wiley and Sons, New York. 235 p.
- da Graca, J. V. 1991. Citrus greening disease. Annu. Rev. Phytopathol. 29:109-136.
- da Graca, J. V. and Korsten, L. 2004. Citrus huanglongbing: review, present status and future strategies. In: Naqvi, S. A. M. H. (Ed.). Diseases of fruits and vegetables. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. I:229-245 pp.
- Ferran, A.; Niknam, H., Kabiri, F.; Picart, J. L.; Herce, C. D. 1996. The use of *Harmonia axyridis* larvae (Coleoptera: *Coccinellidae*) against *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Sternorrhyncha: *Aphididae*) on rose bushes. European J. Entomol. 93:59-67.
- Gaona, G. G.; Sánchez, L. R.; Lara, J. M.; Coronado, J. L.; Mendoza y Quiroz, J. 2009. *Hirsutella* sp. como regulador de poblaciones de *Diaphorina citri* en Tamaulipas. México. In: Memorias del XXXII Congreso Nacional de Control Biológico, Sociedad Mexicana de Control Biológico. Villahermosa, Tabasco, México. 161-164.
- Gary, N. E. and Lorenzen, K. 1989. Effect of methamidophos on honeybees (Hymenoptera: *Apidae*) during alfalfa pollination. J. Econ. Ent. 82:1067-72.
- Halbert, S. E. and Manjunath, K. L. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: *Psyllidae*) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. Florida Entomologist 87(3):401-402.
- Huffaker, C.B. 1985. Biological control in integrated pest management: an entomological perspective. In: Hoy, M. A. and Herzog, D. C. (Eds.). Biological control in agriculture IPM systems. Academic Press, N.Y. 13-23 pp.
- Koch, R. L. 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: a review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. J. Insect Sci. 3:32-47.
- Llorens, J. M. 2007. Biología de los enemigos naturales de las plagas de cítricos y efectos de los productos fitosanitarios. Dossiers Agraris ICEA Enemies naturals de plagues en diferents cultius a Catalunya. (En línea: <http://icea.iec.cat/pdf/Dosier6.pdf>).
- López-Arroyo, J. I.; Loera-Gallardo, J.; Reyes-Rosas, M. A. y Rocha Peña, M. A. 2003a. Manejo integrado de plagas de los cítricos mediante enemigos naturales en México. In: 1^{er} Simposio Internacional de Citricultura de Oaxaca. Septiembre de 2003. Puerto Escondido, Oaxaca. México. 12-26 pp.
- Metcalf, R. L and Luckmann, W. H. 1982. Introduction to Insect Pest Management. Second Edition. John Wiley and Sons: New York.
- Michaud, J. P. 2004. Natural mortality of Asian Citrus Psyllid (Homoptera: Psyllidae) in central Florida. Biological Control. 29(2):260-269.
- Munguía, R.A. 2002. Programa de manejo del pulgón café en el sureste de México. In: Memorias del Curso de Acreditación en Virus Tristeza de los Cítricos. SAGARPA, Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Osawa, N. 2000. Population field studies on the aphidophagous ladybird beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: *Coccinellidae*): resource tracking and population characteristics. Population Ecology 42:115-127.
- Perveen, N.; Alhariri, M.; Ahmad, M. and Suhail, A. 2000. Insecticidal mortality, foraging behavior and pollination role of honey bee (*Apis mellifera* L.) on sarson (*Brassica campestris* L.) crop. Intern. J. Agric. Biol. 2(4):332-333.
- Reyes-Rosas, M. A.; López-Arroyo, J. I. y Loera-Gallardo, J. 2009. Presencia de hongo entomopatógeno del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*, en Río Bravo, Tamaulipas. In: Memorias Del XXVII Congreso Nacional de Control Biológico, Sociedad Mexicana de Control Biológico, Villa Hermosa, Tabasco, México. 420-424 p.
- Reyes-Rosas, M. A. y Loera-Gallardo, J. 2003. Colonización, establecimiento y migración de *Coccinellidae* en el cultivo de sorgo, en el norte de Tamaulipas. XXVI Congreso Nacional de Control Biológico. Memorias. Del 3-8 de noviembre, Guadalajara, Jalisco.
- Rodríguez, A. L.; Badii, M. H y Flores, E. A. 2000. Bases ecológicas del control biológico. In: Badii, M. H.; Flores, A. E. y Galán, W. L. J. (Eds.). Fundamentos y perspectivas de control biológico. UANL, México, D. F. 19-31 p.
- Trichilo, P. J and Wilson, L. T. 1993. An ecosystem analysis of spider mite outbreaks: physiological stimulation or natural enemy suppression. Exp. Appl. Acarol. 17:291-314.
- Xu, C.-F.; Xia, Y.-H. Li.; K.-B. and Ke, C. 1988. Further study of the transmission of citrus huanglongbing by a psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. In: Timmer, L. W. S. M. and Navarro, L. (Eds.) Proc. 10th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. Riverside, CA. 243-248 p.

Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas*

Rate of dry matter accumulation of alfalfa in response to climatic variables

Héctor Mario Quiroga Garza

*Campo Experimental “La Laguna” - INIFAP. Blvd. José S. Valdez 1200, Pte. C. P. 27440, Matamoros, Coahuila, México. Autor para correspondencia: quiroga.mario@inifap.gob.mx.

Resumen

La información necesaria para el desarrollo de modelos de crecimiento de la alfalfa, basados en los efectos de factores climáticos sobre el cultivo, ha sido obtenida en latitudes superiores y con alfalfas de mayor grado de latencia invernal a las explotadas en México; por lo tanto es necesario estimar la respuesta de la alfalfa a diferentes variables climáticas para las condiciones de la región (25° N). Se utilizó información de seis evaluaciones de variedades de alfalfa bajo riego, durante el período 2006 a 2010. La información climatológica se obtuvo de una estación automatizada Adcon Telemetry 840®. Se utilizó el promedio por crecimiento, de temperatura máxima, mínima, horas luz, evapotranspiración y acumulación de grados día base 5°C . La respuesta fue diferente en las estaciones del año: para el período invierno-primavera todas las respuestas fueron cuadráticas, con una explicación significativamente de la variabilidad en la tasa de crecimiento (TC) de la alfalfa ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) de 59, 58, 57, 55 y 27%. Para el período verano-invierno, con excepción de GDD₀₅, todas las respuestas fueron lineales y explicaron 32, 31, 26, 25 y 10% de la variabilidad de la TC, para HrL, ETo, Tmin, Tmax y GDD₀₅, respectivamente. Las mayores temperaturas mínimas ocurrieron en el verano y en combinación con el mayor fotoperíodo, afectó a la TC; reduciendo el período entre cortes, producción de FS, etc. La información generada, puede servir como base para el

Abstract

The information needed for the development of growth models of alfalfa based on the effects of climatic factors on its cultivation has been obtained at higher latitudes and with alfalfa of a higher winter dormancy grade than the alfalfa cultivated in Mexico; it is therefore necessary to estimate the response of alfalfa to different climatic variables under the conditions of the Mexican region (25° N). We used information from six assessments of alfalfa varieties under irrigation during the period 2006-2010. The climatological information was obtained from an automated station Adcon Telemetry 840®. We used the averages for growth, maximum and minimum temperature, daylength, evapotranspiration and accumulation of degree-days (base 5°C). The response was different in each season: in the winter-spring period all responses were quadratic, with a significant explanation of the variability in the growth rate (GR) of alfalfa ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$): 59, 58, 57, 55 and 27%. In the summer-winter period, with the exception of GDD₀₅, all responses were linear and explained 32, 31, 26, 25 and 10% of the variability in GR with respect to HrL, ETo, Tmin, Tmax and GDD₀₅, respectively. The highest minimum temperatures occurred in the summer and, in combination with the highest photoperiod, affected the GR, reducing the time between cuts, FS production, etc.

* Recibido: agosto de 2012
Aceptado: abril de 2013

desarrollo de modelos de estimación del crecimiento de la alfalfa para las condiciones y latitud de la "Comarca Lagunera".

Palabras clave: *Medicago sativa* L., evapotranspiración, fotoperíodo, temperatura.

Introducción

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una leguminosa que en la latitud donde se encuentra localizada la "Comarca Lagunera" (25° N), es explotada para la producción de forraje durante todo el año. Debido a lo anterior, este cultivo se desarrolla bajo una amplia gama de variables climatológicas; lo que da origen a que la productividad de la alfalfa sea fluctuante a lo largo del año. En la literatura se puede encontrar información de diferentes modelos que se han desarrollado para estimar el crecimiento y producción de alfalfa, basados en variables climáticas como temperatura, humedad disponible en el suelo y la acumulación de unidades calor o "grados día" (Fick, 1984; Selerio y Brown, 1979; Quiroga *et al.*, 1992 y 1993); hasta modelos más sofisticados que requieren información microclimática dentro de la cobertura vegetal (Holt *et al.*, 1975). Todos los anteriores modelos fueron desarrollados en los EE.UU. y Canadá, en localidades localizadas entre los 39° y 43° N, utilizando alfalfas con altos niveles de latencia invernal; donde el sistema de manejo es de tres o cuatro cortes al año.

Dentro de las variables climatológicas que han sido reportadas como determinantes en el comportamiento de la alfalfa se encuentra la temperatura, fotoperíodo, radiación solar, evapotranspiración y humedad disponible en el suelo o estrés hídrico. Se ha determinado que el crecimiento de la alfalfa ocurre en el rango de los 5 a 30 °C, con un óptimo entre los 15 y 25 °C de temperatura promedio durante el día y de 10 a 20 °C durante la noche (Sharratt *et al.*, 1986 y 1987).

Por otra parte, Brown y Radcliffe (1986), establecen el rango de 25 a 30 °C como la temperatura óptima para el crecimiento de alfalfa. La mayor actividad y translocación de carbohidratos a la corona y a la raíz de la planta se ha reportado que ocurre cuando la planta crece en un régimen de temperaturas (día/noche) de 21/8 °C, reduciéndose en regímenes de 12/2 °C y aún más en 34/25 °C (Al-Hamdani y Todd, 1990a), lo anterior como una disminución del metabolismo e incremento en la tasa de respiración respectivamente, ya que la tasa de asimilación neta de CO₂

The information generated can serve as a basis for the development of models to estimate the growth of alfalfa under the conditions and latitude of the "Laguna Region".

Key words: *Medicago sativa* L., degree-days, evapotranspiration, photoperiod, temperature.

Introduction

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is a legume that in the latitude where the "Laguna Region" (25° N) is located, is exploited throughout the year for the production of forage. Because of this, the alfalfa crop is grown under a wide range of climatic variables, which causes its yield to fluctuate throughout the year. It is possible to find in the literature information about different models that have been developed to estimate the growth and production of alfalfa based on climatic variables such as temperature, available soil moisture and accumulation of heat units or "degree-days" (Fick, 1984; Selerio and Brown, 1979; Quiroga *et al.*, 1992 and 1993), and also information about more sophisticated models that require micro-climatic information from within the vegetation cover (Holt *et al.*, 1975). All previous models were developed in the U.S. and Canada, in places located between 39° and 43° N, using alfalfa with high levels of winter dormancy for which the management system involves three or four cuts per year.

Among the climatic variables that have been reported as determinants of alfalfa behavior are temperature, photoperiod, solar radiation, evapotranspiration and available soil moisture or water stress. It has been determined that the growth of alfalfa occurs in the range of 5 to 30 °C, with an optimum between 15 and 25 °C of average temperature during the day and 10 to 20 °C overnight (Sharratt *et al.*, 1986 and 1987).

On the other hand, Brown and Radcliffe (1986) have set a range of 25 to 30 °C as the optimum temperature for alfalfa growth. It has been reported that when the plant grows in a temperature regime (day/night) of 21/8 °C there is an increased activity and translocation of carbohydrates to the crown and the root of the plant, while in temperature regimes of 12/2 °C there is a decrease, and an even greater decrease in temperature regimes of 34/25 °C (Al-Hamdani and Todd, 1990a). This occurs due to a decrease in metabolism and an increased breathing rate, as the net assimilation rate of

se incrementa al pasar de una temperatura ambiente de 18 °C a 21 °C, de 12.9 a 18.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, pero no se incrementa al llegar a los 35 °C; lo anterior como resultado del aumento en la tasa de respiración tanto, de tallos como de raíz a esta alta temperatura (Al-Hamdani y Todd, 1990b). La respiración nocturna de alfalfa se incrementa en forma lineal de 0.6 a 4.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, al incrementar la temperatura de 10 a 50 °C (Brown y Radcliffe, 1986).

El estrés hídrico, por déficit de humedad en el suelo, salinidad o por altas temperaturas, da origen a cambios fisiológicos y metabólicos en la alfalfa. A nivel de la hoja, el estrés hídrico ocasiona un reducción de la actividad fotosintética al inhibir la actividad de las enzimas Rubisco (Ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa) y ATPasa, y su regeneración.

A nivel radicular, el estrés hídrico reduce la actividad de la enzima Nitrogenasa, afectando a la tasa de fijación de N₂ al reducirse la respiración del nódulo y aumentando la concentración de O₂ y por lo tanto el transporte de compuestos nitrogenados a la parte aérea de la planta. La alfalfa, tratará de reducir su potencial osmótico para contrarrestar el déficit hídrico al incrementar a nivel celular los contenidos de azúcares solubles y aminoácidos (Flexas y Medrano, 2002; Aranjuelo *et al.*, 2011). Todo lo anterior se verá reflejado en una menor concentración de CO₂ en la hoja debido a un incremento en la resistencia estomática (Medrano *et al.*, 2002).

Sin embargo, otros estudios han demostrado que la reducción en la actividad fotosintética en las plantas de alfalfa sometidas a algún grado de estrés hídrico, no solo está ligada a la respuesta estomática al estrés hídrico (Antolín y Sánchez, 1993). Además de la respuesta estomática y cambios bioquímicos en el transporte de electrones de la fotosíntesis, la actividad fotosintética está controlada por la alteración de la expresión genética que controla la síntesis de las diferentes enzimas y proteínas que interviene en este proceso fisiológico (Chaves *et al.*, 2009).

La alfalfa pertenece al grupo fotosintético de plantas C₃, que se caracteriza por tener una baja eficiencia en el uso del agua. Los mejores índices de eficiencia en el uso del agua, evapotranspirada, están en el orden de 1.6 a 1.7 kg MS m⁻³ (Grismer 2001; Lindenmayer *et al.*, 2011). El coeficiente de cultivo para la alfalfa (*Kc*) no es constante durante el año y se reporta que fluctúa de 0.71 a 1.78 dependiendo de la estación del año (Benli *et al.*, 2006). Una estrategia, no muy extendida para mejorar la eficiencia de la alfalfa, es la

CO₂ increases from 12.9 to 18.9 mol CO₂ m⁻² s⁻¹ when the ambient temperature passes from 18 °C to 21 °C, but it stops increasing when the temperature reaches 35 °C as a result of the increase in the respiration rate of both stems and roots at this high temperature (Al-Hamdani and Todd, 1990b). The nocturnal respiration of alfalfa increases linearly from 0.6 to 4.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ when the temperature increases from 10 to 50 °C (Brown and Radcliffe, 1986).

Water stress, due to either soil moisture deficit, salinity or high temperature, gives rise to physiological and metabolic changes in alfalfa. At the leaf level, water stress causes a reduction of photosynthetic activity by inhibiting the activity of the Rubisco enzymes (Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase) and ATPase, as well as their regeneration.

At the root level, water stress reduces the activity of the nitrogenase enzyme, affecting the fixation rate of N₂ by reducing the nodule respiration, and increasing the concentration of O₂ and, therefore, the transport of nitrogen compounds to the aerial part of the plant. Alfalfa seeks to reduce its osmotic potential to counteract the water deficit by increasing the content of soluble sugars and amino acids at the cellular level (Flexas and Medrano, 2002; Aranjuelo *et al.*, 2011). All the above will be reflected in a lower concentration of CO₂ in the leaf due to an increase in stomatal resistance (Medrano *et al.*, 2002).

However, other studies have shown that the reduction of photosynthetic activity in alfalfa plants subjected to some degree of water stress is linked not only to the stomatal response to water stress (Antolin and Sánchez, 1993). In addition to the stomatal response and biochemical changes in the transport of electrons during photosynthesis, photosynthetic activity is controlled by the change of the gene expression controlling the synthesis of the various enzymes and proteins involved in the physiological process (Chaves *et al.* 2009).

Alfalfa belongs to the photosynthetic group of C₃ plants, which is characterized by a low water use efficiency. The best indexes of water use efficiency and evapotranspiration show values for alfalfa in the order of 1.6 to 1.7 kg MS m⁻³ (Grismer 2001; Lindenkayer *et al.*, 2011). The crop coefficient for alfalfa (*Kc*) is not constant throughout the year, reportedly ranging from 0.71 to 1.78 depending on the season (Benli *et al.*, 2006). A not very widespread strategy to improve the water efficiency of alfalfa is to suspend irrigation during

de suspender el riego durante los meses de verano, época donde la alfalfa es más ineficiente en el uso del agua (Hanson *et al.*, 2007; Orloff y Hanson, 2008; Quiroga y Faz, 2008).

Durante el verano, las condiciones climáticas como temperatura y principalmente el fotoperiodo, aceleran el desarrollo fenológico de la planta acortando el intervalo entre cortes y por ende la producción de MS. La alfalfa está catalogada como una planta de días largos, esto es la floración se acelera en el período o época del año con el mayor fotoperiodo (Major *et al.*, 1991), reduciendo el número de días entre cada corte, lo que está asociado a una disminución del rendimiento unitario por corte en esta estación del año, éste período es conocido como caída de verano o "summer slump" (Fick *et al.*, 1988).

Dado que la mayoría de la información para el desarrollo de modelos de crecimiento basados en efectos de factores climáticos sobre el desarrollo de la alfalfa han sido obtenidos en latitudes superiores, en muchos de los casos en cámaras de crecimiento y con alfalfas de mayor grado de latencia invernal a las explotadas en México, como en la "Comarca Lagunera"; por lo tanto es necesario estimar la respuesta en producción de la alfalfa a diferentes variables climáticas para las condiciones de la región.

Materiales y métodos

En el Campo Experimental "La Laguna" de INIFAP ($25^{\circ} 31'$ latitud norte; $103^{\circ} 14'$ latitud oeste; 1 096 msnm) fueron establecidas seis evaluaciones de variedades de alfalfa bajo riego, durante el período 2006 a 2010. Se evaluaron variedades con latencia invernal 9 y 10. La información climatológica se obtuvo de la estación automatizada Adcon Telemetry 840®, ubicada en el mismo Campo Experimental. Todas las evaluaciones de alfalfa utilizadas en este estudio, fueron establecidas bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y con parcelas de 6 m^2 . Las variedades fueron evaluadas para la producción de forraje verde y seco, registrándose el peso total en verde de la parcela y con una submuestra por parcela se estimó el contenido de materia seca y la producción de forraje seco. Todos los cortes fueron realizados cuando las variedades iniciaron su proceso de floración (5 a 15% flor) y para los crecimientos invernales cuando el rebrote basal alcanzó los 3 cm de altura; obteniéndose de 8 a 9 cortes en el año de establecimiento y de 11 a 12 cortes en el 2 ó 3 año de producción.

the summer months, a time when alfalfa is more inefficient in its use of water (Hanson *et al.*, 2007; Orloff and Hanson, 2008; Quiroga and Faz, 2008).

During the summer, climatic conditions such as temperature and, mainly, the photoperiod, accelerate the phenological development of the plant by shortening the interval between cuts and thus the production of MS. Alfalfa is classified as a long-day plant, meaning that the flowering accelerates in the period or time of year with the longest photoperiod (Major *et al.*, 1991), reducing the number of days between each cut, which is associated to a decrease in the unit yield per cut in this season; this period is known as a "summer slump" (Fick *et al.*, 1988).

Since most of the information for developing growth models based on the effects of climatic factors on the development of alfalfa were obtained at higher latitudes, in many cases with the use of growth chambers and alfalfa varieties with a higher winter dormancy grade than the alfalfa varieties cultivated in Mexico in regions such as the "Laguna Region", it is necessary to estimate the yield response of alfalfa to the different climatic variables found here.

Materials and methods

Six evaluations of irrigated alfalfa varieties were established in the Experimental Field "La Laguna" of the INIFAP ($25^{\circ} 31'$ N, $103^{\circ} 14'$ W; 1096 masl) during the period 2006-2010. The varieties evaluated had a winter dormancy of 9 and 10. The climatological information was obtained from the automated station Adcon 840 Telemetry®, located in the same experimental field. All evaluations of alfalfa used in this study were established under a randomized block design with four replicates and with plots of 6 m^2 . The varieties were evaluated for the production of green and dry forage; the total weight of the green plants of each plot was recorded, and dry matter content and dry forage production were estimated based on a subsample from each plot. All cuts were made when the varieties began their flowering process (5-15% flower), and also, for evaluating winter growth, when the basal re-growth reached 3 cm tall; 8 to 9 cuts were obtained in the establishment year and 11 to 12 cuts in the second or third production year.

We used the information generated from six evaluations of alfalfa varieties established in the experimental field of La Laguna during 2004-2010. From the first to evaluation we

Se utilizó la información generada de seis evaluaciones de variedades de alfalfa, establecidas en el Campo Experimental de La Laguna, durante el periodo 2004-2010. De la primera evaluación, sólo se utilizó los datos obtenidos durante 2006, año en que entró en operación la estación climatológica automatizada. De todas las evaluaciones se utilizó la información de la variedad CUF-101 de latencia invernal "9", la cual es utilizada como testigo regional y se estableció en todas las evaluaciones. También se utilizó información de variedades de alfalfa de latencia invernal "10", como WL-711, WL-712 y Royal Ten; cuya información fue obtenida de tres de las seis evaluaciones, donde fueron establecidas.

Para cada variedad, corte y evaluación se estimó la producción de forraje seco (FA) y la tasa de crecimiento promedio de la alfalfa (TC) como $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, utilizada como variable dependiente. Durante cada crecimiento se obtuvieron las variables independientes: promedio diario de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) °C, diferencial de temperatura ($T_{dif} = Tmax - Tmin$), fotoperiodo (horas luz, HrL), evapotranspiración potencial ETo mm (método de Penman-Monteith) obtenida directamente de la estación automatizada y la acumulación de grados día con temperatura base de 5 °C, $GDD_{05} = \sum ((Tmax + Tmin)/2) - 5$ (Selerio y Brown, 1979; Fick, 1984). La precipitación no se tomó en cuenta, ya que esta no es significativa para los calendarios de riego de la región, su promedio anual fluctuó de 162 mm (2009) a 288 mm (2010). En total se utilizaron 88 observaciones para invierno-primavera y 93 observaciones para verano-otoño.

Se evaluaron las relaciones entre la variable dependiente con los efectos lineales y cuadráticos de cada una de las variables independientes con el método de regresión múltiple; utilizando el procedimiento de PROC GLM del software SAS® (SAS/STAT, 1990). El nivel de significancia para seleccionar la relación fue al menos de 5% ($p = 0.05$). El primer corte de cada evaluación no se tomó en cuenta ya que para alcanzar el estado fisiológico de corte se requieren de 90 a 110 días, en cambio para los subsiguientes cortes, dependiendo de la época del año, se requieren de 23 a 45 días.

Resultados y discusión

Las tres variedades de latencia invernal "10", en sus respectivas evaluaciones; fueron estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) al testigo CUF-101 de latencia "9" en la producciones de forraje seco, por lo tanto se consideró como una sola base

used only the data obtained in 2006, when the automated weather station became operational. From all evaluations we used the information about the CUF-101 variety, which has a winter dormancy of "9" and was used as regional control in all evaluations. We also used information about alfalfa varieties with a winter latency of "10", such as WL-711, WL-712 and Royal Ten, which was obtained from three of the six evaluations in which these varieties were established.

For each variety, cut and evaluation we estimated the dry forage production (FA) and the average growth rate of alfalfa (GR) as $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$, which we used as the dependent variable. With each step of growth we determined the independent variables: average daily maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperature in °C, temperature differential ($T_{dif} = Tmax - Tmin$), photoperiod (day length, HrL), potential evapotranspiration ETo mm (Penman-Monteith method) obtained directly from the automated station, and the accumulation of degree-days with a base temperature of 5 °C, $GDD_{05} = \sum ((Tmax + Tmin)/2) - 5$ (Selerio and Brown, 1979; Fick, 1984). Precipitation was not considered, as it is not significant for the irrigation schedules of the region; its annual average ranged from 162 mm (2009) to 288 mm (2010). In total, 88 observations were used for winter-spring and 93 observations for summer-autumn.

We evaluated the relationships between the dependent variable and the linear and quadratic effects of each of the independent variables with the multiple regression method, using the PROC GLM procedure of the SAS® software (SAS/STAT, 1990). The significance level to accept the relationship was at least 5% ($p = 0.05$). The first cut of each evaluation was not taken into account, because alfalfa plants need 90 to 110 days to attain the physiological state needed to make the first cut, while for subsequent cuts, depending on the time of the year, the plants need only 23-45 days.

Results and discussion

The three alfalfa varieties with a winter dormancy of "10" were statistically equal ($p \leq 0.05$), in their respective evaluations, to the control CUF-101, which has a dormancy of "9", with respect to dry forage production; therefore, they were considered as single data base. By relating

de datos. Al relacionar la variable dependiente, TC de la alfalfa ($t\text{ FS ha}^{-1}\text{ día}^{-1}$), con los parámetros climatológicos de Tmax, Tmin, Tdif, HrL, ETo y GDD₀₅, se detectó un mismo patrón: los crecimientos ocurridos durante el invierno y primavera tuvieron un comportamiento diferente a los ocurridos durante el verano y otoño. Por lo anterior, se manejaron análisis de regresión, por separado, para cada variable climatológica. Esta diferente respuesta de la planta, puede ser atribuida al fotoperíodo: incremento durante el invierno y primavera (de 10 h 32' a 13 h 44' luz), y decremento durante el verano y el otoño (de 13 h 44' a 10 h 32' luz).

En el Cuadro 1, se muestran los niveles de probabilidad de los coeficientes de determinación: lineal y cuadrático, de la variable dependiente (TC, $t\text{ FS ha}^{-1}\text{ día}^{-1}$) con cada una de las variables climatológicas independientes estudiadas. Durante los crecimientos obtenidos durante el período invierno-primavera, la respuesta de la TC de alfalfa a todas las variables climatológicas (excepto Tdif, $p>0.05$) fue de segundo orden o cuadrática ($p\leq 0.01$); en cambio para los crecimientos obtenidos durante el período verano-otoño, todas exceptuando GDD₀₅, fueron de primer orden o lineal ($p\leq 0.01$) y de segundo orden para GDD₀₅ ($p\leq 0.05$).

Cuadro 1. Nivel de significancia de los coeficientes de determinación de los efectos lineales y cuadráticos, para la tasa de crecimiento de la alfalfa con las variables independientes, crecimientos de los períodos invierno-primavera y verano-otoño.

Table 1. Level of significance of the coefficients of determination between the linear and quadratic effects on the rate of growth of alfalfa and the independent variables; growth of the winter-spring and summer-autumn periods.

Variable	Invierno- primavera				Verano- otoño			
	Independiente	Lineal	Cuadrático	Lineal	Cuadrático			
Tmax†	0.0001	***‡	0.0008	**	0.0001	**	0.8489	NS
Tmin	0.0001	**	0.0001	**	0.0001	**	0.4413	NS
Tdif	0.1726	NS	0.3144	NS	0.0001	**	0.0721	NS
HrL	0.0001	**	0.0001	**	0.0001	**	0.7972	NS
ETo	0.0001	**	0.0001	**	0.0001	**	0.4043	NS
GDD ₀₅	0.0001	**	0.0102	*	0.0376	*	0.0184	*

† Tmax= temperatura máxima promedio; Tmin= temperatura mínima promedio; HrL= horas luz promedio; ETo= Evapotranspiración promedio y GDD₀₅= acumulación de grados día, base 5 °C. ‡ ** Diferencia altamente significativa ($p\leq 0.01$). * Diferencia significativa ($p\leq 0.05$). NS= diferencia no significativa ($p>0.05$).

Temperatura máxima promedio (Tmax)

La respuesta de la alfalfa en su TC a la Tmax, ocurrida en cada crecimiento se muestra en la Figura 1. Para los crecimientos ocurridos durante las estaciones de invierno y primavera, la TC se incrementó conforme aumentó Tmax, hasta llegar a los 33-35 °C, conforme aumentó Tmax por

the dependent variable, GR, of alfalfa ($t\text{ FS ha}^{-1}\text{ day}^{-1}$) with the climatological parameters Tmax, Tmin, Tdif, HrL, ETo and GDD₀₅, we found the same pattern: the growth occurred during winter and spring had a different behavior to the growth that occurred during summer and autumn. For this reason, regression analyzes were handled separately for each climatic variable. This response of the plant can be attributed to the photoperiod: it increased during winter and spring (from 10 h 32' to 13 h 44' of light), and decreased during summer and autumn (from 13 h 44' to 10 h 32' of light).

Table 1 shows the probability levels of the coefficients of determination, linear and quadratic, between the dependent variable (GR, $t\text{ FS t ha}^{-1}\text{ day}^{-1}$) and each of the independent climatic variables studied. During the growth of the winter-spring period, the response of the alfalfa GR to all the climatic variables (except Tdif, $p>0.05$) was of second-order, or quadratic ($p\leq 0.01$), whereas for the growth achieved during the summer-autumn period, all responses, except for the response to GDD₀₅, were of first-order, or linear ($p\leq 0.01$), and of second-order for GDD₀₅ ($p\leq 0.05$).

Average maximum temperature (Tmax)

The response of the alfalfa GR to Tmax at each step of growth is shown in Figure 1. For the growth occurred during the winter and spring seasons, the GR increased as Tmax increased until 33-35 °C; when Tmax increased above this range, the GR of alfalfa tended to

arriba de éste rango, la TC de la alfalfa tendió a decrecer. Para los crecimientos del verano y otoño, la TC decreció en forma lineal conforme disminuyó la Tmax. También, en este segundo período se observó una mayor dispersión de los puntos de TC, posiblemente a que durante el verano y el otoño, como se verá más adelante, el rango de Tmin fue mucho mayor al de la primavera e invierno, lo cual pudo incrementar las tasas de respiración por arriba a la ocurrida en la primavera. Resultados de estudios realizados en latitudes superiores a la nuestra con alfalfas de mayor latencia invernal han encontrado que la temperatura óptima para la alfalfa, desde el punto de vista fotosíntesis, es de 30 °C (Brown y Radcliffe, 1986), y en general las temperaturas óptimas, diurnas y nocturnas, para la distribución de fotosintatos y crecimiento se ubican en 21/8 °C (Al-Hamdani y Todd, 1990a).

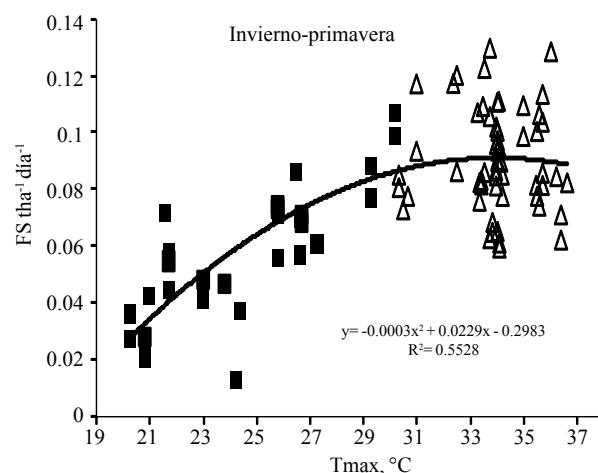
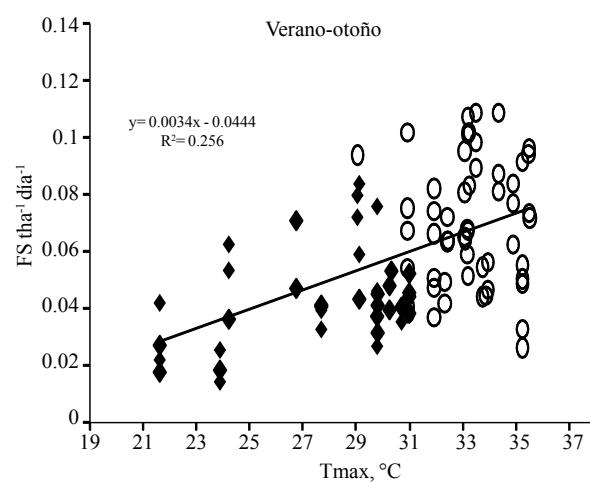


Figura 1. Respuesta en la TC de alfalfa ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) al promedio diario de temperatura máxima (Tmax) ocurrida en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (♦).

Figure 1. Response of the alfalfa GR ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$) to the maximum average daily temperature (Tmax) occurred at each step of growth during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (♦).

Para el invierno y primavera, la estimación de la TC con la expresión cuadrática de Tmax, explicó 55% los cambios en la respuesta de la alfalfa a esta variable independiente; valor muy similar al 50% reportado para el rendimiento global de alfalfa en el segundo año en el estado de Minnesota, EUA, localizada a la latitud de los 44° N y utilizando a la variedad "Vernal" considerada con latencia invernal de grado "2" (Sharratt *et al.*, 1986). Para los crecimientos ocurridos en verano y otoño, Tmax logró explicar 26% de la variabilidad en la TC, los mismos autores reportan 25% en la explicación lograda por Tmax, sólo para los crecimientos de primavera.

decrease. For summer and autumn growth, GR decreased linearly as Tmax decreased. Also, in this second period there was a greater dispersion of the GR points, possibly due to the fact that during the summer and autumn, as discussed later, the range of Tmin was much higher than in the spring and winter, which could have increased the respiration rates above the levels of the spring. Results from studies done in higher latitudes with alfalfa varieties found of higher winter dormancy found that the optimal temperature for alfalfa, from the standpoint of photosynthesis, is 30 °C (Brown and Radcliffe, 1986). In general, the optimal daily and nightly temperatures for the distribution of photosynthates and for growth are around 21/8 °C (Al-Hamdani and Todd, 1990a).



For winter and spring, the estimation of GR with the quadratic expression of Tmax explained 55% of the changes in the response of alfalfa to this independent variable, a very similar value to the 50% reported for the overall yield of alfalfa in the second year in the state of Minnesota, USA, located at a latitude of 44° N, using the "Vernal" variety, which has a winter dormancy of grade "2" (Sharratt *et al.*, 1986). For the growth occurred in summer and autumn, Tmax succeeded in explaining 26% of the variability in GR; the same authors reported that Tmax explained 25% of the changes in GR during the spring.

Temperatura mínima promedio (Tmin)

La respuesta de la alfalfa en su TC, mostró las mismas tendencias para Tmin a las encontradas para Tmax (Figura 2). Una respuesta de segundo grado para los crecimientos ocurridos durante invierno y primavera; y lineal para el período verano-otoño. En el caso del período invierno-primavera, se encontró que la máxima TC ocurrió en el rango de 15 a 17 °C; conforme aumentó Tmin durante el invierno, la TC incrementó linealmente hasta éste rango de temperatura; después la TC inició a decrecer conforme Tmin superó el rango mencionado anteriormente, posiblemente por un incremento en la respiración nocturna en respuesta a una mayor Tmin (Heichel, *et al.*, 1988). Al igual que con Tmax, los porcentajes de explicación en los cambios de TC fueron similares para Tmin, 55% y 26% para ambos períodos de crecimiento. Sharratt *et al.* (1986) encontraron que con Tmin se explicó entre 24 y 34% de la variación en la producción de alfalfa.

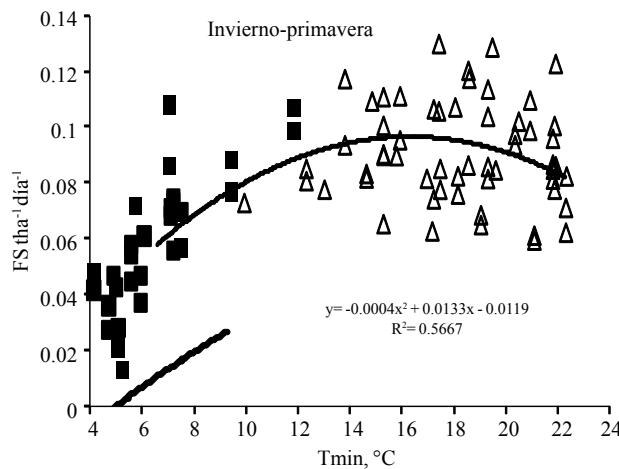


Figura 2. Respuesta en la TC de alfalfa ($t\text{ FS ha}^{-1}\text{ día}^{-1}$) al promedio diario de temperatura mínima (Tmin) ocurrida en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (♦).

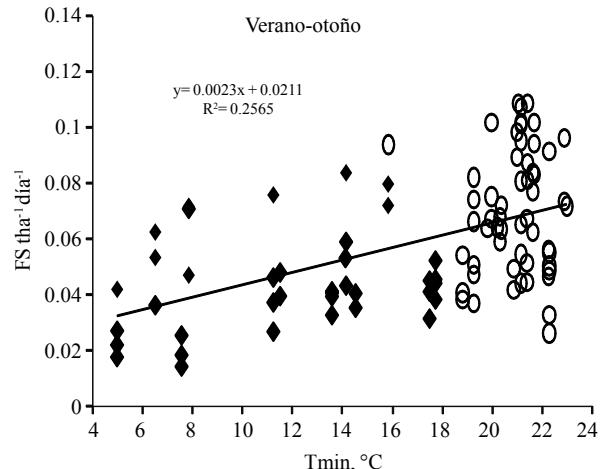
Figure 2. Response of the alfalfa GR ($t\text{ FS ha}^{-1}\text{ day}^{-1}$) to the minimum average daily temperature (Tmin) occurred at each step of growth during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (♦).

GDD₀₅

Los modelos basados en la acumulación de GDD₀₅ durante cada crecimiento, para ambos períodos, fueron cuadráticos y altamente significativos ($p \leq 0.01$). Sin embargo, de todas las variables independientes fue la que explicó en menor grado los cambios observados en la TC: 27 y 10% para los crecimientos de invierno-primavera y verano-otoño, respectivamente (Figura 3 y Cuadro 1). Posiblemente esto es debido a que en la latitud donde se desarrolló el presente estudio, existen otras variables climatológicas de mayor peso y de mayor relación al grado de aridez característico;

Average minimum temperature (Tmin)

The response of the alfalfa GR showed the same trends for Tmin than for Tmax (Figure 2): a quadratic response to the growth occurred during winter and spring, and a linear one for the summer-autumn period. In the case of the winter-spring period, it was found that the maximum GR occurred in the range of 15-17 °C; as Tmin increased during winter, the GR increased linearly until this temperature range was reached, then began to decrease when Tmin exceeded the above range, possibly due to an increase in nocturnal respiration in response to a higher Tmin (Heichel *et al.*, 1988). As with Tmax, the percentages of explanation for the GR changes were similar for Tmin, 55% and 26% for both periods of growth. Sharratt *et al.* (1986) found that Tmin explained between 24 and 34% of the variation in the production of alfalfa.



GDD₀₅

The models based on the accumulation of GDD₀₅ at each step of growth for both periods were quadratic and highly significant ($p \leq 0.01$). However, of all the independent variables, this was the one that least explained the changes observed in the GR of alfalfa: 27 and 10% for the growth of winter-spring and summer-autumn, respectively (Figure 3 and Table 1). This was possibly due to the fact that at the latitude at which this study took place there are other more influential climatic variables related to the characteristic aridity of the region;

de aquí la gran variabilidad mostrada en ambos períodos. Lo anterior se contrapone con otros estudios realizados en latitudes alrededor de los 43° N, donde se han desarrollado modelos en base a GDD₀₅ (Selorio y Brown, 1979; Fick, 1984; Quiroga *et al.*, 1992 y 1993). En nuestro caso, para ambos períodos de crecimiento, las mayores TC observadas se presentaron alrededor de los 550 - 650 GDD.

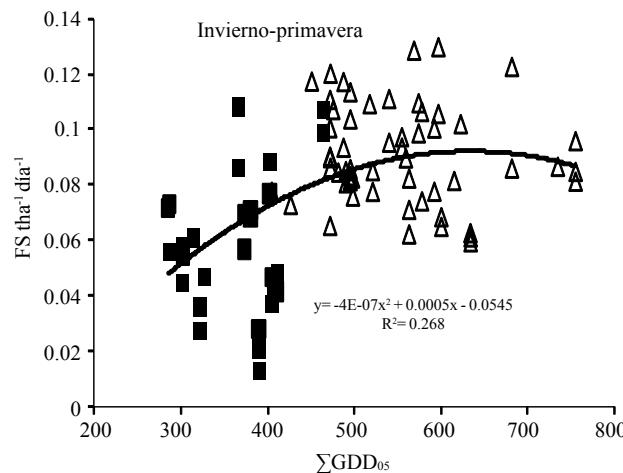


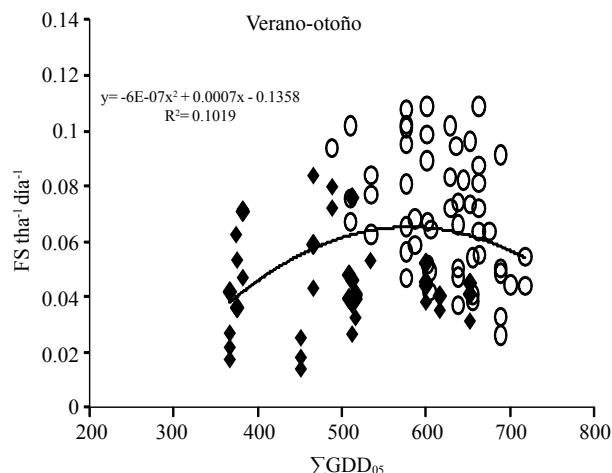
Figura 3. Respuesta en la TC de alfalfa ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) a la acumulación de GDD₀₅ en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (♦).

Figure 3. Response of the alfalfa GR ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$) to the accumulation of GDD₀₅ at each step of growth during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (♦).

Tdif

El diferencial entre Tmax y Tmin pudiera ayudar a entender la baja relación entre GDD₀₅ y TC. En la Figura 4, el verano fue la estación donde Tdif fue menor, fluctuando en promedio de 11 a 14°C en el día. También en esta estación se presentaron las mayores Tmin (Cuadro 2) las cuales fácilmente rebasaron los 20 °C, considerando que la temperatura óptima nocturna para la alfalfa es entre 10 y 20 °C (Sharratt *et al.*, 1986 y 1987); la tasa de respiración nocturna debió de afectar a la TC. Y si se considera que el rango de temperatura óptimo para la acumulación de materia seca en alfalfa es de 25 a 30 °C (Brown y Radcliffe, 1986), podemos concluir que principalmente durante el verano es cuando se presentan las condiciones menos propicias para la producción de alfalfa, esto es sin considerar en número de horas diarias en las que la temperatura rebasó el óptimo (30 °C) para la alfalfa. En este caso la máxima TC se alcanzó cuando Tmax alcanzó los 33 °C (Figura 1). Aunque los valores de las regresiones para ambos periodo no son los buscados para una estimación de confianza, Tdif puede llegar a

hence the great variability observed in both periods. This contrasts with other studies in latitudes around 43° N, where models based on GDD₀₅ have been developed (Selorio and Brown, 1979; Fick, 1984; Quiroga *et al.*, 1992 and 1993). In our case, the highest GR observed, for both periods of growth, occurred around 550-650 GDD₀₅.



Tdif

The differential between Tmax and Tmin could help understand the relationship between GDD₀₅ and GR. In Figure 4, the summer was the season when Tdif was lower, ranging on average from 11 to 14 °C during the day. Also, this season had the highest Tmin (Table 2), which easily exceeded 20 °C, whereas the optimum night temperature for alfalfa is between 10 and 20 °C (Sharratt *et al.*, 1986 and 1987); the night respiration rate must have affected the GR. When one considers that the optimum temperature range for dry matter accumulation in alfalfa is 25-30 °C (Brown and Radcliffe, 1986), it can be concluded that it is mainly during the summer when conditions are less conducive to alfalfa production; this is without considering the number of hours per day in which temperature was above the optimum level (30 °C) for alfalfa. In this case, the maximum GR was reached when Tmax reached 33 °C (Figure 1). Although the values of the regressions for both periods were not what is required for a trustworthy estimation, Tdif can actually be of help to some estimation model or simulation where it competes and works in conjunction with other climatic variables.

contribuir en algún modelo de estimación o simulación donde entre en competencia y en conjunto con otras variables climáticas.

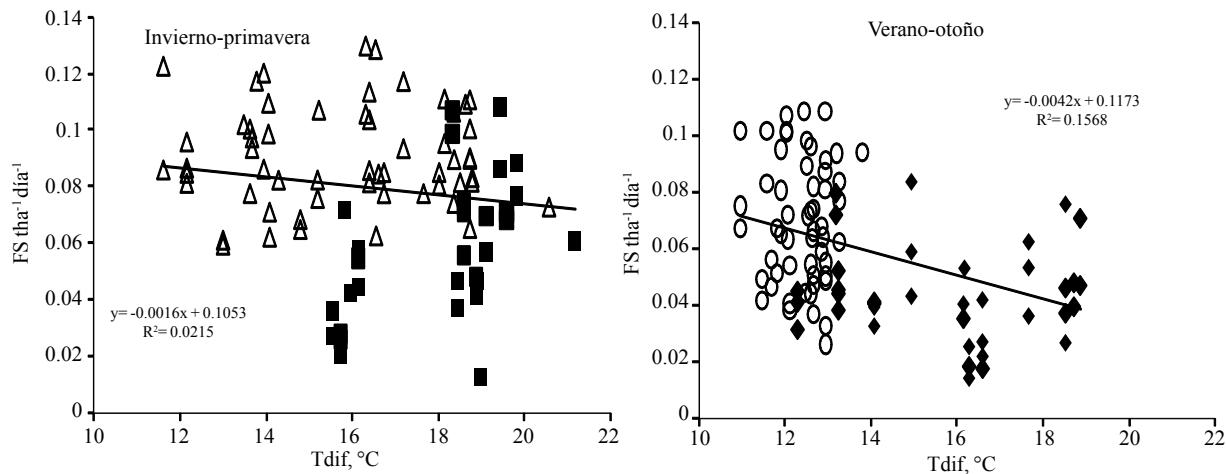


Figura 4. Respuesta en la TC de alfalfa ($t\text{FS ha}^{-1}\text{día}^{-1}$) al diferencial de temperatura diaria en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (♦).

Figure 4. Response of the alfalfa GR ($t\text{FS ha}^{-1}\text{day}^{-1}$) to the daily temperature differential at each of the growth steps during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (♦).

Cuadro 2. Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) mínimas y máximas extremas, ocurridas en cada una de las estaciones durante los cinco años del estudio; y número de días en los cuales la temperatura mínima fue inferior a los 5°C y la temperatura máxima fue superior a los 33°C .

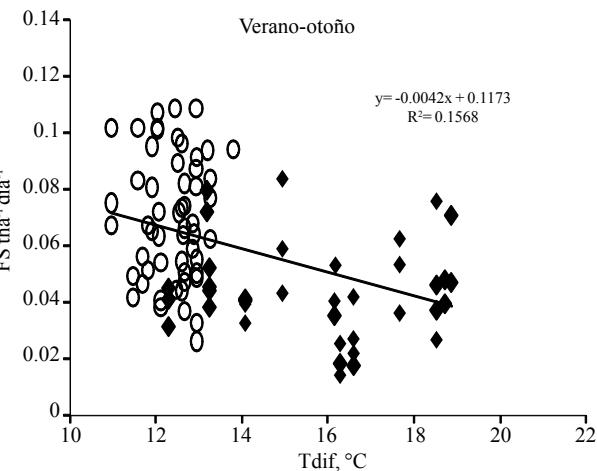
Table 2. Extremes minimum and maximum temperatures ($^{\circ}\text{C}$) occurred in each of the seasons during the five years of the study; and number of days in which the minimum temperature was below 5°C and the maximum temperature was higher at 33°C .

Año	Invierno				Primavera				Verano				Otoño			
	Tmin [†]	# Días	Tmax	# Días	Tmin	# Días	Tmax	# Días	Tmin	# Días	Tmax	# Días	Tmin	# Días	Tmax	# Días
	Ext.	< 5°C	Ext.	$33^{\circ}\text{C} <$	Ext.	< 5°C	Ext.	$33^{\circ}\text{C} <$	Ext.	< 5°C	Ext.	$33^{\circ}\text{C} <$	Ext.	< 5°C	Ext.	$33^{\circ}\text{C} <$
2006	-3.4	21	35.2	2	7.1	0	38.1	62	15.0	0	37.4	46	-0.6	19	34.3	4
2007	-2.7	38	35.1	1	4.6	1	39.2	47	17.8	0	36.3	45	0.1	12	34.9	16
2008	-3.5	49	34.3	5	2.8	1	39.8	62	10.4	0	37.0	47	-4.2	17	35.1	3
2009	-1.9	23	34.3	6	5.3	0	39.2	56	15.0	0	37.9	66	-0.2	15	36.8	11
2010	-2.8	40	31.4	0	0.5	5	40.4	57	17.2	0	37.0	61	-5.6	32	34.4	4

[†] Tmin= temperatura mínima $^{\circ}\text{C}$; Tmax= temperatura máxima $^{\circ}\text{C}$.

Tanto en primavera como en verano, Tmax superó los 33°C , entre 50 y 68% de los días en cada una de estas dos estaciones; siendo más notoria la variabilidad de la TC durante el verano por las altas temperaturas nocturnas (Tmin). En cambio, durante la primavera se presentaron las mayores Tmax, pero las Tmin fueron mucho menores a las ocurridas en el verano y rara vez bajaron del mínimo para el crecimiento activo de la alfalfa (5°C), Cuadro 2. Por otra parte, tanto en el otoño como en el invierno se presentaron temperaturas por debajo del punto de congelación o heladas, solo en los otoños de 2008 y 2010 se presentó una temperatura $< -4^{\circ}\text{C}$,

Both in spring and summer, Tmax exceeded 33°C 50 and 68% of the days of each of these two seasons, respectively; the variability of GR during the summer was more



noticeable because of the high night temperatures (Tmin). In contrast, the highest Tmax occurred during the spring but the Tmin were much lower than those that occurred in the summer and rarely were below the minimum required for the active growth of alfalfa (5°C), Table 2. On the other hand, below-freezing temperatures, or frosts, occurred both in the autumn and winter; only in the autumns of 2008 and 2010 there was a temperature of $< 4^{\circ}\text{C}$, which is the threshold for considering a frost as a "black" one, capable of burning the aerial growth of alfalfa (Sharratt *et al.*, 1986 and 1987).

considerado como el límite para considerar a una helada como “negra”, capaz de quemar el crecimiento aéreo de la alfalfa (Sharratt *et al.*, 1986 y 1987).

Fotoperiodo (HrL)

La TC de la alfalfa aumentó conforme se incrementó el fotoperíodo hasta las 13 h luz en el periodo invierno-primavera (Figura 5). A partir de este punto la TC decreció; ya que la alfalfa es una planta de días largos (Fick, *et al.*, 1988; Major, *et al.*, 1991) y el número de días necesarios para alcanzar el inicio de su etapa reproductiva se reducen y por consiguiente su TC. Aunque en este estudio no se incluyó la información del primer crecimiento después de la siembra, Major *et al.* (1991), reportan que a partir de las 18 h de fotoperíodo, la alfalfa independientemente de su grado de latencia invernal, inicia su floración en promedio a los 18-20 días después de la siembra. En éste periodo (invierno-primavera), el fotoperíodo con su respuesta cuadrática explicó 58% de la variación en la TC de la alfalfa.

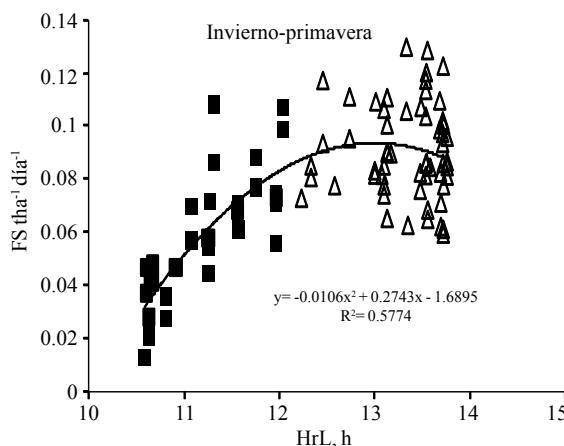


Figura 5. Respuesta en la TC de alfalfa ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) al fotoperíodo o promedio diario de horas luz (HrL) ocurrida en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (♦).

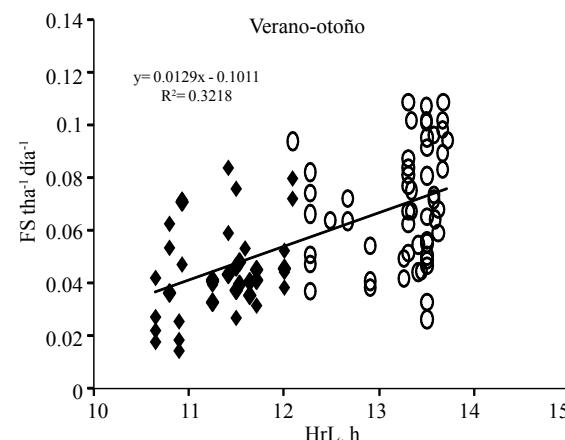
Figure 5. Response of the alfalfa GR ($t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$) to the photoperiod, or daily average or light hours (HrL), occurred at each of the growth steps during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (♦).

Para el periodo verano- otoño, la precisión de la respuesta de la alfalfa al fotoperíodo bajó a 32%; lo anterior puede ser el resultado que durante el verano el diferencial entre las temperaturas diurnas y nocturnas es bajo; esto es altas T_{min}, que se verán reflejadas en una menor fotosíntesis neta; también las altas temperaturas diurnas pueden inducir períodos temporales de estrés hídrico que afectaran la tasa de fotosíntesis (Aranjuelo *et al.*, 2011). Durante el otoño, el diferencial entre las temperaturas diurnas y nocturnas es muy fluctuante, pudiendo tener noches frías pero también

Photoperiod (HrL)

The GR of alfalfa increased as the photoperiod increased to 13 h of light in the winter-spring period (Figure 5). From this point the GR decreased, since alfalfa is a long day plant (Fick *et al.*, 1988; Major *et al.*, 1991) and the number of days required to reach the beginning of its reproductive stage is reduced, thereby reducing its GR. Although this study did not include information from the first growth after planting, Major *et al.* (1991) reported that after a photoperiod of 18 h, alfalfa starts flowering on average 18-20 days after sowing, regardless of its degree of winter dormancy. In this period (winter-spring), the photoperiod, with its quadratic response, explained 58% of the variation in the GR of alfalfa.

For the summer-autumn period, the accuracy of the estimation of the response of alfalfa to the photoperiod dropped to 32%; this may due to the fact that, during the summer, the difference between day and night temperatures is low, that is, T_{min} are high, which is reflected in a lower



net photosynthesis; also, higher daytime temperatures can induce temporary water stress periods which affect the rate of photosynthesis (Aranjuelo *et al.*, 2011). During the autumn, the differential between day and night temperatures is very fluctuating, and it is possible to have cold nights but also warm nights, with their corresponding effects on the rate of respiration of alfalfa; in this period the average T_{min} reaches up to 18 °C (Figure 2). As with HrL, the accuracy of the estimation of the GR of alfalfa during summer-autumn was also lower than T_{max} and T_{min} were analyzed.

noches cálidas y sus efectos sobre la tasa de respiración de la alfalfa, T_{min} promedio de hasta 18°C (Figura 2). Al igual que con H_{RL} , la precisión en la estimación de la TC de la alfalfa durante el verano- otoño, también fue menor cuando se analizaron tanto T_{max} , como T_{min} .

Evapotranspiración (ETo, mm día $^{-1}$)

La respuesta en la TC de alfalfa a la ETo promedio diaria se muestra en la Figura 6, y al igual que las otras variables climatológicas estudiadas se observó la misma tendencia: una respuesta cuadrática o de segundo orden en los crecimientos de invierno- primavera y lineal para los crecimientos de verano-otoño. También una mayor precisión para los crecimientos del invierno y primavera, con 59% en la explicación de la variación de la TC de la alfalfa; que para los crecimientos del verano y otoño, con sólo 31% en la explicación y lineal, de la variación en la TC de la alfalfa.

Al estimar la eficiencia de la alfalfa en base a ETo, y analizando la respuesta del crecimiento invierno-primavera como lineal, obtenemos que la eficiencia durante este período fue de $1.20 \text{ t FS mm}^{-1}$ de ETo, y de $1.03 \text{ t FS mm}^{-1}$ de ETo para el período verano-otoño. Estos valores no distan mucho a los obtenidos de estudios diseñados específicamente para medir la eficiencia en el uso del agua (UEA) por la alfalfa, se reporta que la alfalfa presenta como eficiencias máximas entre 1.60 y $1.70 \text{ t FS mm}^{-1}$ de ETo (Lindenmayer, *et al.*, 2011); e incluso se sugiere que el UEA de la alfalfa tiende a decrecer conforme se incrementa ETo (Grimser, 2001); tal y como se observa en la respuesta cuadrática del crecimiento invierno- primavera.

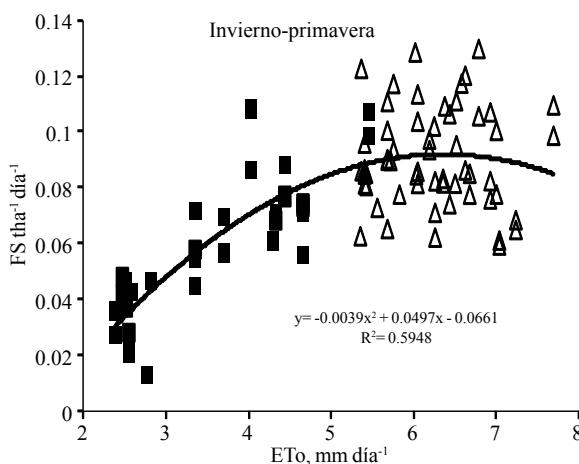


Figura 6. Respuesta en la TC de alfalfa ($\text{t FS ha}^{-1} \text{día}^{-1}$) al promedio diario de evapotranspiración (ETo, mm día^{-1}) ocurrida en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (♦).

Figure 6. Response of the alfalfa GR ($\text{t FS ha}^{-1} \text{day}^{-1}$) to daily average evapotranspiration (ETo, mm day^{-1}) occurred at each of the growth steps during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (♦).

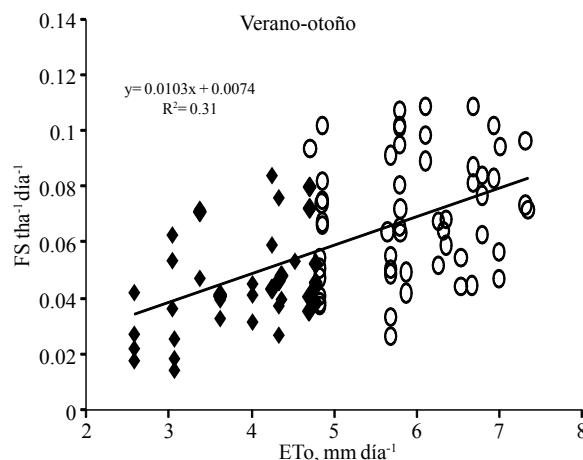
Evapotranspiration (ETo, mm day $^{-1}$)

The response of the alfalfa GR to daily average ETo is shown in Figure 6; it showed the same trend as the other climatic variables studied: a quadratic response for the winter-spring growth, and a linear response for the summer-autumn growth. Also, the winter and spring growth were more accurately estimated, with ETo explaining 59% of the variation of the GR of alfalfa, than the summer and autumn growth, for which only 31% of the variation of the GR of alfalfa was explained by ETo.

When estimating the efficiency of alfalfa based on ETo and analyzing the response of the winter-spring growth as linear, we obtain that the efficiency during this period was $1.20 \text{ t FS mm}^{-1}$ of ETo, and $1.03 \text{ t FS mm}^{-1}$ of ETo for the summer-autumn period. These values are not much different than those obtained from studies designed specifically to measure the water use efficiency (WUE) of alfalfa, which reported that alfalfa presented peak efficiencies between 1.60 and $1.70 \text{ t FS mm}^{-1}$ of ETo (Lindenmayer *et al.*, 2011), and even suggest that the WUE of alfalfa tends to decrease when ETo increases (Grimser, 2001), just as observed in the quadratic response of winter-spring growth.

Conclusions

The information generated in this study with respect to each climatological variable (except T_{dif}) can serve as a basis for the development of models to estimate the growth of alfalfa



Conclusiones

La información generada en este estudio, con cada variable climatológica (excepto Tdif), puede servir como base para el desarrollo de modelos de estimación del crecimiento de la alfalfa para las condiciones de la "Comarca Lagunera" (25 °N) y otras regiones similares en México; ya que los modelos existentes actualmente, han sido desarrollados para latitudes superiores y para alfalfas con mayor grado de latencia invernal. Queda claro que modelos basados solo en la simple acumulación de unidades calor o GDD₀₅, no serán precisos debido a que en estas latitudes se presentan condiciones extremas durante el verano.

Para las condiciones en las que se condujo el presente estudio, la intensidad en la respuesta de la alfalfa a las diferentes variables climatológicas no fue constante a lo largo de las estaciones del año; por lo que para desarrollar modelos de predicción no podrá ser un modelo único para todo el año, sino que deberá de ser de acuerdo a la época o estación del año. Claramente las estaciones de invierno y primavera (incremento del fotoperíodo), fueron diferentes al verano y otoño (reducción del fotoperíodo). Lo anterior es el efecto combinado del fotoperíodo en conjunto a las fluctuaciones en las temperaturas y a la tasa de evapotranspiración, por lo extremoso del verano en la región. Las mayores temperaturas mínimas ocurren en el verano en combinación con el mayor fotoperíodo, y esto afecta a la tasa de crecimiento por una mayor tasa de respiración; reduciendo el período entre cortes, producción de FS, reserva radicular de carbohidratos, etc.

Literatura citada

- Al-Hamdani, S. and Todd, G. W. 1990a. Effect of temperature on photosynthate partitioning in alfalfa. Can. J. Plant Sci. (70):203-208.
- Al-Hamdani, S. and Todd, G. W. 1990b. Effect of temperature regimes on photosynthesis, respiration, and growth in alfalfa. Proc. Okla. Acad. Sci. (70):1-4.
- Antolín, M. C. and Sánchez, D. M. 1993. Effects of temporary droughts on photosynthesis of alfalfa plants. J. Exp. Bot. (44):1341-1349.
- Aranjuelo, I.; Molero, G.; Erice, G.; Avíce, J. C. and Nogués, S. 2011. Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). J. Exp. Bot. (62):111-123.
- Benli, B.; Kodal, S.; İlbeyi, A. and Ustun, H. 2006. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. Abric. Water Management. (81):358-370.
- Brown, R. H. and Radcliffe, D. E. 1986. A comparison of apparent photosynthesis in sericea lespedeza and alfalfa. Crop Sci. (26):1208-1211.
- Chaves, M. M.; Flexas, J. and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Ann. Bot. (103):551-560.
- Fick, G. W. and Onstad, D. 1984. ALSIM (Level 0). Description, performance, and user instructions for base-line model of alfalfa yield and quality. Agron. Mimeo 83-26. Dept. Agron. Cornell Univ. Ithaca, NY, EUA.
- Fick, G. W.; Holt, D. A. and Lugg, D. G. 1988. Environmental physiology and crop growth. In: Hanson, A. A.; Barnes, D. K. and Hill, R. R. (Eds.) Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy 29. Am. Soc. Agron. Madison, WI, EUA. 163-194 pp.
- Flexas, J. and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. Ann. Bot. (89):183-189.
- Grismar, M. E. 2001. Regional alfalfa yield, Etc, and water value in Western States. J. Irrigation and Drainage Eng. (127):131-139.
- Hanson, B.; Putnam, D. and Snyder, R. 2007. Deficit irrigation of alfalfa as a strategy for providing water for water-short areas. Abric. Water Management. (93):73-80.
- Heichel, G. H.; Delaney, R. H. and Cralle, H. T. 1988. Carbon assimilation, partitioning, and utilization. In: Hanson *et al.* (Ed.) Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy 29. American Society of Agronomy. Madison, WI, EUA. 195-228 pp.
- under the conditions present in the "Laguna Region" (25° N) and other similar regions in Mexico, considering that the current models were developed for higher latitudes and for alfalfa varieties with a higher degree of winter dormancy. It is clear that models based only on the simple accumulation of heat units, or GDD₀₅ will not be accurate, because in these latitudes extreme conditions are present during the summer.
- The intensity of the response of alfalfa to different climatic variables was not constant throughout the year for the conditions under which the present study was conducted; therefore, it is necessary to develop multiple predicting models, one for each epoch or season. Clearly, the winter and spring seasons (increased photoperiod) were different from the summer and autumn seasons (reduced photoperiod). This is the result of the combined effect of the photoperiod in conjunction with the fluctuations in temperature and the evapotranspiration rate, given the extreme nature of summer in the region. The highest temperatures occur in the summer, in combination with the longest photoperiod, affecting the growth rate of alfalfa due to an increased respiration rate, and reducing the time between cuts, FS production, root carbohydrate reserves, etc.

End of the English version



- Holt, D. A.; Bula R. J.; Miles G. E.; Schreiber M. M. and Peart, R. M. 1975. Environmental physiology modeling and simulation of alfalfa. I. Conceptual development of SIMED. *Purdue Agric. Exp. Sta. Bull.* 907.
- Lindenmayer, R. B.; Hansen, N. C.; Brummer, J. and Pritchett, J. G. 2011. Deficit irrigation of alfalfa for water-savings in the great plains and intermountain west: a review and analysis of literature. *Agron. J.* (103):45-50.
- Major, D. J.; Hanna, M. R. and Beasley, B. W. 1991. Photoperiod response characteristics of alfalfa (*Medicago sativa L.*) cultivars. *Can. J. Plant Sci.* (71):87-93.
- Medrano, H.; Escalona, J. M.; Bota, J.; Gulás, J. and Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C₃ plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Ann. Bot.* (89):895-905.
- Orloff, S. and Hanson, B. 2008. Conserving water through deficit irrigation of alfalfa in the Intermountain area of California. *Forage and Grazingland* (<http://www.plantmanagementnetwork.org/fg/>). doi:10.1094/FG-2008-0421-01-RS.
- Quiroga, G. H. M. y Faz, C. R. 2008. Incremento de la eficiencia en el uso del agua por la alfalfa mediante la suspensión de riegos en el verano. *TERRA Latinoamericana.* (26):111-117.
- Quiroga, G. H. M.; Winch, J. E. y Brown, D. M. 1992. Estimación de la calidad de la alfalfa utilizando parámetros climatológicos. *ITEA.* (88):133-141.
- Quiroga, G. H. M.; Winch, J. E. y Brown, D. M. 1993. El uso de la acumulación de grados día como base para el establecimiento de un calendario de cortes en alfalfa. *ITEA.* (89):91-102.
- Selerio, I. S. and Brown, D. M. 1979. Soil moisture-based simulation of forage yield. *Agric. Metrorol.* (20):99-114.
- Sharratt, B. S.; Baker, D. G. and Sheaffer, C. C. 1986. Climatic effect on alfalfa dry matter production. Part I. Spring harvest. *Agric. Forest Meteorol.* (37):123-131.
- Sharratt, B. S.; Baker, D. G. and Sheaffer, C. C. 1987. Climatic effect on alfalfa dry matter production. Part II. Summer harvest. *Agric. Forest Meteorol.* (39):121-129.

Distinción de especies del género *Persea* mediante RAPD e ISSR de ADN^{1*}

Distinction of species of the genus *Persea* by RAPD and ISSR DNA markers¹

Juan Carlos Reyes-Alemán¹, Ernestina Valadez-Moctezuma², Lisandro Simuta-Velázco³, Alejandro Facundo Barrientos-Priego^{2§} y Clemente Gallegos-Vázquez⁴

¹Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S. C. Ignacio Zaragoza No. 6 Coatepec Harinas, México. C. P. 1700. (reyesaleman@hotmail.com). ²Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Texcoco Estado de México, México. C. P. 56230. (nestty56@yahoo.com.mx). ³Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Revolución esq. Berlín. Uruapan, Michoacán, México. (subgenpersea@gmail.com). ⁴Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo, México. A. P. 196. Zacatecas, Zacatecas. C. P. 98001. México. (clemgava5@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: abarrien@correo.chapingo.mx.

Resumen

Con la finalidad de establecer bases para diferenciar parte de la diversidad genética de *Persea* y en especial del subgénero *Persea* resguardado en la colección nacional de germoplasma de aguacate de México, se estudiaron ocho especies (*P. americana*, *P. steyermarkii*, *P. schiedeana*, *P. lingue*, *P. nubigena*, *P. floccosa*, *P. cinerascens* y *P. indica*) con marcadores moleculares mediante las técnicas de RAPD e ISSR, donde los productos de PCR fueron separados en geles de acrilamida. Las huellas de ADN se analizaron con métodos estadísticos multivariadas y de remuestreo para conocer su relación genómica. Se detectaron fragmentos polimorfismos de ADN útiles para la distinción inter e intraespecífica de las ocho especies del género *Persea* en estudio. Los análisis estadísticos de las huellas de ADN mediante RAPD a diferencia de ISSR, agruparon de forma congruente a las diferentes especies de acuerdo a la taxonomía actual. De acuerdo al presente estudio, *P. indica* y *P. lingue* mantienen poca relación genómica con el resto de las especies estudiadas por pertenecer al subgénero *Eriodaphne*. Por otra parte los resultados permitieron diferenciar genotipos de las diferentes especies del subgénero *Persea* incluyendo a *P. americana* y un híbrido interespecífico incluido en el estudio.

Abstract

With the aim of establishing a basis to differentiate part of the *Persea* genetic diversity, specially of the subgenus *Persea* maintained in the National Avocado Germplasm Repository of Mexico, eight species were studied (*P. americana*, *P. steyermarkii*, *P. schiedeana*, *P. lingue*, *P. nubigena*, *P. floccosa*, *P. cinerascens* y *P. indica*) with molecular markers by means of RAPD and ISSR techniques, where the PCR products were separated in acrylamide gels. The DNA fingerprinting was analyzed with multivariate statistical methods and bootstrapping to establish their genomic relationships. Useful DNA polymorphic fragments were found for the inter and intra-specific distinction of the eight species of *Persea* considered in the study. The statistical analysis of the DNA fingerprints by means of RAPD grouped the different species congruently with the actual taxonomic classification, compared with ISSR. According to the present study, *P. indica* y *P. lingue* show less genomic relationship with the rest of the species studied, and this is accordance to the fact that they correspond to the subgenus *Eriodaphne*. The results permitted to differentiate genotypes of the different species of the subgenus *Persea* that includes *P. americana* and an inter-specific hybrid included in the study.

* Recibido: octubre de 2012
Aceptado: marzo de 2013

Palabras clave: germoplasma, marcadores moleculares, recursos fitogenéticos.

Introducción

México cuenta con amplia variabilidad en aguacate y existen al menos 20 diferentes especies relacionadas con el aguacate (Barrientos *et al.*, 2007). El género *Persea* que pertenece a la familia *Lauraceae* es considerado como uno de los más difíciles de abordar taxonómicamente (Kopp, 1966). Hace unos años se publicó que el subgénero *Persea* sólo está formado por *P. americana* y *P. schiedeana*, dejando fuera a *P. nubigena*, *P. steyermarkii*, *P. parvifolia*, *P. tolimanensis*, *P. floccosa*, y *P. zentmyerii*, y se indicó que la variabilidad en aguacate se debe a los procesos de selección y cultivo que el hombre ha hecho a través del tiempo (Van der Werff, 2002).

Mediante RFLP se pudo separar *P. nubigena* y *P. steyermarkii* y a *P. floccosa* de *P. americana* (Furnier *et al.*, 1990); sin embargo, indicó que pueden ser solo variantes de *P. americana*. Recientemente se planteó que los subgéneros *Persea* y *Eriodhapne* se consideren como géneros, basado en un análisis de parsimonia algorítmica (Campos *et al.*, 2006), donde también reconoce a la mayoría de las especies del subgénero *Persea*.

Las dificultades en la clasificación de las razas de aguacate, junto con la influencia del hombre, es el hecho de que su progenie es extremadamente variable (Gama, 1994), por lo que las herramientas como los marcadores moleculares podría tener una aplicación directa para resolver la ubicación taxonómica dentro del complejo *Persea*, existen ya antecedentes en aguacate con RFLP (Davies *et al.*, 1998), con SSR (Mhameed *et al.*, 1997), con RAPD (Fiedler *et al.*, 1998), con AFLP (Chao *et al.*, 2003) y con microsatélites (Ashworth y Clegg, 2003).

Si se dan las condiciones estandarizadas y estrictas a los ensayos con marcadores basados en RAPD, se pueden realizar pruebas rápidas y de menor demanda técnica, comparados con minisatélites y microsatélites (Fiedler *et al.*, 1998). Asimismo, estos mismos autores indicaron que los RAPD pueden ayudar a elucidar la variación genética de todo el subgénero *Persea*, ya que se demostró la detección de fragmentos monomórficos específicos para cada raza de *P. americana*, lo cual no se ha encontrado con microsatélites (Schnell *et al.*, 2003).

Key words: Lauraceae, avocado, germplasm, molecular markers, plant genetic resources.

Introduction

Mexico has a large variety of avocados, with at least 20 different species (Barrientos *et al.*, 2007). The genus *Persea*, which belongs to the family *Lauraceae*, is considered one of the most difficult to classify taxonomically (Kopp, 1966). A few years ago it was reported that the subgenus *Persea* comprises only *P. americana* and *P. schiedeana*, leaving out *P. nubigena*, *P. steyermarkii*, *P. parvifolia*, *P. tolimanensis*, *P. floccosa*, and *P. zentmyerii*, and it was also indicated that the variability in avocado is due to the selection and cultivation processes carried out by man over time (van der Werff, 2002).

RFLP allowed to separate *P. nubigena*, *P. steyermarkii* and *P. floccosa* from *P. americana* (Furnier *et al.*, 1990); however, it was indicated that they might be variants of *P. americana*. Recently, it was suggested that the subgenera *Persea* and *Eriodhapne* should be considered as genera, based on an algorithmic parsimony analysis (Campos *et al.*, 2006), which also recognizes most of the species of the subgenus *Persea*.

The difficulties found in the classification of the races of avocado are due to, along with the influence of man, the extreme variability of their progeny (Gama, 1994), so that tools such as molecular markers could have a direct application to solve the taxonomic problem of assigning a location for avocado within the complex *Persea*. There already precedents for avocado with RFLP (Davies *et al.*, 1998), SSR (Mhameed *et al.*, 1997), RAPD (Fiedler *et al.*, 1998), AFLP (Chao *et al.*, 2003) and microsatellites (Ashworth and Clegg, 2003).

If the RAPD- based assays are carried out under strict and standardized conditions, it is possible to perform tests quickly and less technically demanding compared to minisatellites and microsatellites (Fiedler *et al.*, 1998). Furthermore, these same authors indicated that RAPD may help elucidate the genetic variation of the entire subgenus *Persea*, as the presence of specific monomorphic fragments for each race of *P. americana* was demonstrated by this method, a finding that microsatellites have not been able to achieve (Schnell *et al.*, 2003).

Por lo anterior se planteó como objetivo, establecer las bases para la distinción mediante marcadores moleculares de genotipos representativos del subgénero *Persea* y *Eriodaphne*, con énfasis en el primero.

Materiales y métodos

En el presente estudio se realizó durante 2008, un total de 14 genotipos de *Persea* fueron evaluados, provenientes del banco de germoplasma de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. localizado en Coatepec Harinas, Estado de México, México. Correspondiendo a ocho especies del género *Persea*: *P. americana*, *P. steyermarkii*, *P. schiedeana*, *P. lingue*, *P. nubigena*, *P. floccosa*, *P. cinerascens*, *P. indica*, posible híbrido *P. nubigena* x *P. americana* y un híbrido *P. schiedeana* x *P. americana* var. *guatemalensis* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genotipos de *Persea* tipificados mediante RAPD e ISSR en el estudio.

Table 1. *Persea* genotypes typified using RAPD and ISSR in the study.

Origen	Nombre designado	Núm. en lote	Especie, raza o parentesco
España	Indica	1	<i>P. indica</i>
México	Canelillo	2	<i>P. cinerascens</i>
Guatemala	Gigantea	3	<i>P. gigantea</i>
México	Floccosa	10	<i>P. floccosa</i>
Guatemala	Nubigena 1/7	12	Possible híbrido <i>P. nubigena</i> x <i>P. americana</i>
Guatemala	Martín Grande c	19	Híbrido <i>P. schiedeana</i> x <i>P. americana</i> var. <i>guatemalensis</i>
México	ScrMer 7 S1	60	<i>P. americana</i> var. <i>guatenmalensis</i>
México	Rodeo 1	70	<i>P. nubigena</i>
México	CRM	76	<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>
México	Olanca 2 S3	114	<i>P. americana</i> var. <i>guatenmalensis</i>
México	Tochimilco 1	208	<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>
México	Steyermarkii	232	<i>P. steyermarkii</i>
Honduras	Lino	44	<i>P. schiedeana</i>
Chile	Lingue	32	<i>P. lingue</i>

ScrMer 7 S1= San Cristóbal de las Casas Mercado 7 Semilla 1; CRM= Criollo de la Raza Mexicana.

Extracción de ADN

Basándose en el método del CTAB ("cetyltrimethylammonium bromide") conforme en los protocolos ya establecidos (Saghai-Maroof *et al.*, 1984), con leves modificaciones, se realizó la extracción de ADN de hojas frescas de aguacate de los genotipos correspondientes. Posteriormente el ADN obtenido se almacenó a 4 °C hasta su uso.

Therefore, we proposed as the objective of this study to distinguish, by way of molecular markers, representative genotypes of the subgenera *Persea* and *Eriodaphne*, especially of the former.

Materials and methods

The present study was conducted during 2008; a total of 14 genotypes of *Persea* were evaluated, all them from the Germplasm Bank of the Salvador Sánchez Colin Foundation, CICTAMEX , S. C., located in Coatepec Harinas, State of Mexico, Mexico. The genotypes correspond to eight species of the genus *Persea*: *P. americana*, *P. steyermarkii*, *P. schiedeana*, *P. lingue*, *P. nubigena*, *P. floccosa*, *P. cinerascens*, *P. indica*, the possible hybrid *P. nubigena* x *P. americana* and a hybrid, *P. schiedeana* x *americana* var. *guatemalensis* (Table 1).

DNA extraction

We extracted DNA from fresh leaves of avocado of the corresponding genotypes based on the CTAB method ("cetyltrimethylammonium bromide") and according to established protocols slightly modified (Saghai-Maroof *et al.*, 1984). Subsequently, the DNA obtained was stored at 4 °C until use.

Condiciones de PCR

Mediante la técnica de la reacción de polimerización en cadena (PCR) se sintetizaron *in vitro* fragmentos específicos de ADN con la finalidad de detectar mediante el uso del termociclador secuencias específicas en el genoma de hojas de aguacate. Se usó para RAPD e ISSR un equipo Gene Amp PCR System 2700. Para RAPD el programa de termociclaje comprendió un ciclo inicial de desnaturación de 1'00'' a 94 °C, 35 ciclos comprendiendo la desnaturación, alineamiento y extensión de 0'30'' a 94 °C, 0'30'' a 40 °C y 1'30'' a 72 °C, respectivamente, y al final 1 ciclo de extensión de 2'30'' a 72 °C. Para ISSR se utilizó un ciclo inicial de desnaturación de 1'00'' a 94 °C, 38 ciclos comprendiendo desnaturación, alineamiento y extensión de 0'30'' a 94 °C, 0'30'' a 48 °C y 2'00'' a 72 °C, respectivamente, y al final 1 ciclo de extensión de 2'30'' a 72 °C.

Los componentes de reacción para el análisis tipo RAPD se colocaron en tubos de 500 µl contenido cada uno 25 µl de los siguientes componentes; 5 µl de ADN (20 ng µl⁻¹), 0.3 µl enzima Taq polimerasa (5 U µl⁻¹), 10 ml DNTPs (500 µM), 2.5 µl amortiguador Taq (1x), 2 µl de MgCl₂ (25 mM), 2 µl de Primer y 3.2 µl de agua.

Los componentes de reacción para el análisis tipo ISSR fueron los mismos que se utilizaron para RAPD solo que en este caso se utilizaron; 2.5 µl de ADN [20 ng µl⁻¹] y 3 µl de MgCl₂ [25 mM].

Se utilizaron siete iniciadores para el caso de RAPD (Cuadro 2) y cinco para ISSR (Cuadro 3).

Cuadro 2. Iniciadores RAPD utilizados e información de fragmentos de ADN de genotipos de *Persea* spp.

Table 2. RAPD primers used and information about the DNA fragments of genotypes of *Persea* spp.

Secuencia de iniciador	Fragmentos detectados	Fragmentos Polimórficos (%)	Fragmentos de individuales entre genotipos
5'-TTC CGAACCC-3'	15	80.0	3
5'-TGT CTGGGTG-3'	48	83.3	8
5'-AAG CCT CGTC-3'	43	93.0	3
5'-TGG ACC GGT G-3'	51	88.2	6
5'-TGC GGC TGA G-3'	61	90.1	6
5'-GGT GAC TGT G-3'	68	94.1	4
5'-GGA CTG CAG A-3'	53	92.4	4

PCR conditions

Using the polymerase chain reaction (PCR) technique, we synthesized *in vitro* specific DNA fragments with the aim of detecting, with the use of the thermocycler, specific sequences in the genome of avocado leaves. For RAPD and ISSR, we used a Gene Amp PCR System 2700 equipment. For RAPD, the thermocycling program included an initial denaturation cycle of 1' 00" at 94 °C, with 35 cycles comprising denaturation, alignment and extension of 0'30" at 94 °C, 0'30" at 40 °C, and 1'30" at 72 °C, respectively; and at the end, one extension cycle of 2' 30" at 72 °C. For ISSR we used an initial denaturation cycle of 1' 00" at 94 °C, with 38 cycles comprising denaturation, alignment and extension of 0'30" at 94 °C, 0'30" at 48 °C and 2' 00" at 72 °C, respectively, and at the end one extension cycle of 2' 30" at 72 °C.

The reaction components for the RAPD analysis were placed in 500 µl tubes, each containing 25 µl of the following components: 5 µl of DNA (20 ng µl⁻¹), 0.3 µl of the Taq polymerase enzyme (5 U µl⁻¹), 10 ml DNTPs (500 µM), 2.5 µl of Taq buffer (1x), 2 µl of MgCl₂ (25 mM), 2 µl of primer and 3.2 µl of water.

The reaction components for the ISSR analysis were the same as were used for RAPD but in this case the quantities used were: 2.5 µl of DNA [20 ng µl⁻¹] and 3 µl of MgCl₂ [25 mM].

Seven primers were used for RAPD (Table 2) and five for ISSR (Table 3).

Cuadro 3. Iniciadores ISSR utilizados e información de fragmentos de ADN de genotipos de *Persea* spp.
Table 3. ISSR primers used and information about the DNA fragment of genotypes of *Persea* spp.

Secuencia de Iniciador ^z	Fragmentos de detectados	Fragmentos Polimórficos (%)	Fragmentos de individuales entre genotipos
5'-(AC) ₈ YG-3'	25	80.0	5
5'-(GA) ₈ YC-3'	26	93.3	2
5'-(TCC) ₅ RY-3'	19	89.4	2
5'-(GACA) ₄ -3'	18	83.3	3
5'-(GATA) ₄ -3'	17	88.2	2

^zY sustituye residuos C (citosina) y T (timina); R sustituye G (guanina) y A (adenina).

Elaboración de geles

Los productos amplificados de PCR se separaron mediante electroforesis con una cámara en sistema vertical mediante geles de poliacrilamida 8%. Para el corrimiento de las muestras se utilizaron 2.5 µl de la mezcla del producto de la reacción de PCR agregando 1 µl de buffer de carga "blue orange" y se utilizó un marcador estándar de 1 Kb. Los geles se corrieron a 280 voltios por 2.5 h en amortiguador TBE 1X y se tiñeron con AgNO₃ 0.2% de acuerdo al protocolo convencional. Para la documentación de las huellas de ADN se utilizó el sistema Digital Science 1D V.2.0.3.

Análisis estadístico

Mediante los perfiles de bandas obtenidos en los geles se elaboró una matriz básica de datos correspondiente a cada iniciador utilizado, donde la presencia y ausencia de bandas fue registrado, asignando 1 y 0, respectivamente.

Para el análisis de los datos obtenidos y agrupados en cada matriz, respectiva, se utilizó el criterio de distancias de similitud mediante el índice Jaccard (Jaccard, 1908) y para el agrupamiento se utilizó el método Neighbor-Joining recomendado para generar grupos por similitud (Saitou y Nei 1987), este método ha sido utilizado con RAPD en germoplasma de cacao (Whitkus *et al.*, 1999) y RAPD para germoplasma de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) donde se comprobó que el mejor método de agrupamiento fue Neighbor-Joining con valores del índice de Jaccard (Demey *et al.*, 2003). Para elaborar el árbol se utilizó el programa FreeTree v. 0.9.1.50 (Pavlicek *et al.* 1999), y se realizó un remuestreo ("bootstrapp") de 1000 repeticiones, obteniendo el árbol consenso con las frecuencias de cada uno de los agrupamientos (Hampl *et al.* 2001), para visualizar el árbol obtenido se utilizó el programa Tree View v. 1.6.6 (Page, 1996).

Preparation of gels

The PCR amplified products were separated by electrophoresis with a camera mounted on a vertical system using 8% polyacrylamide gels. 2.5 µl of the mixture produced by the PCR reaction were used for running the samples, adding 1 µl of loading buffer "blue orange", and using a standard 1 Kb marker. The gels were run at 280 volts for 2.5 h in TBE 1X buffer and stained with 0.2% AgNO₃ according to the conventional protocol (Valadez and Kahl, 2000). The Digital Science 1D system, V.2.0.3, was used for recording the DNA fingerprints.

Statistical analysis

From the band profiles obtained with the gels we prepared a basic data matrix for each primer used where we registered the presence and absence of bands, assigning 1 and 0, respectively.

To analyze the data collected and grouped in each matrix we used the criteria of similarity distances by way of the Jaccard index (Jaccard, 1908). For grouping we used the Neighbor-Joining method recommended to generate groups by similarity (Saitou and Nei 1987); this method has been used with RAPD on cocoa germplasm (Whitkus *et al.*, 1999) and on cassava germplasm (*Manihot esculenta* Crantz), from which it was found that the best grouping method was Neighbor-Joining with values from the Jaccard index (Demey *et al.*, 2003). We used the FreeTree program, v. 0.9.1.50, to make the tree. (Pavlicek *et al.* 1999), and performed a bootstrap of 1000 replicates, obtaining the consensus tree with the frequencies of each of the groupings (Hampl *et al.* 2001); to visualize the tree obtained we used Tree View program, v. 1.6.6 (Page, 1996).

Resultados y discusión

Cada iniciador derivó diversos fragmentos de ADN que sirvieron para generar las dos matrices, tanto con RAPD e ISSR (Figuras 1 y 2).

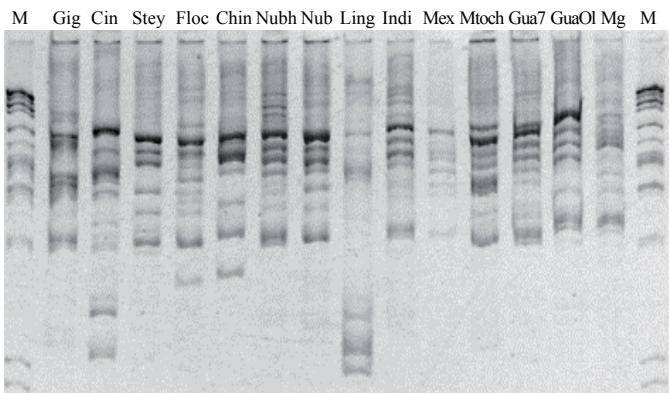


Figura 1. Ejemplo de perfiles de fragmentos derivados de ADN genómico de especies del género *Persea* mediante RAPD del iniciador 5'-GGT GAC TGT G-3'.

Figure 1. Example of amplified genomic DNA fragments of species belonging to the genus *Persea* using the primer RAPD 5'-GGT GAC TGT G-3'.

Dichos fragmentos fueron más abundantes en la mayoría de los iniciadores RAPD (Cuadro 2), mientras que en los ISSR fueron menos abundantes (Cuadro 3); donde todos los iniciadores mostraron 80% o más fragmentos polimórficos.

El patrón de bandeo en general defirió marcadamente entre individuos, donde se detectaron bandas únicas para cada uno de los individuos variando en su número con RAPD (Cuadro 4); sin embargo, para ISSR solo se encontraron fragmentos únicos para algunos individuos. Los patrones de las bandas detectadas para todos los iniciadores fueron altamente informativos y distintivos para cada uno de los individuos.

La matriz de datos para RAPD contó con 3 808 caracteres de todos los 14 individuos, mientras que para ISSR la matriz se constituyó de 1 470 caracteres. Dichas matrices fueron utilizadas para derivar árboles filogenéticos (filogramas) para RAPD e ISSR.

Todos los individuos se pudieron diferenciar y no existieron redundancias. La distancia genética más lejana para el caso de RAPD fue de 0.875 entre *P. schiedeana* y *P. indica*, y la con mayor cercanía fue entre *P. nubigena* y para el posible híbrido *P. nubigena* x *P. americana* con 0.511. Para ISSR la

Results and discussion

Each primer amplified various DNA fragments which served to generate the two matrices, both with RAPD and with ISSR (Figures 1 and 2).

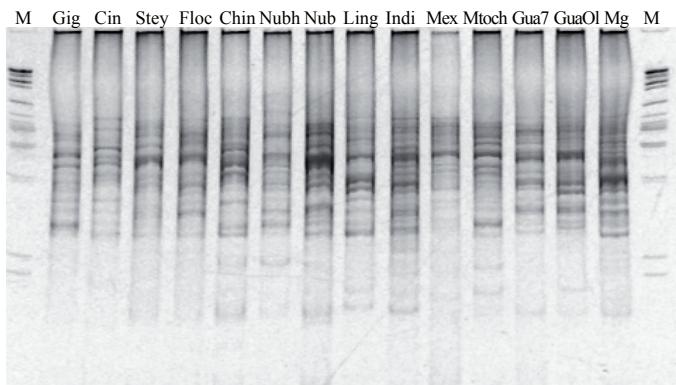


Figura 2. Ejemplo de perfiles de fragmentos derivados de ADN nuclear de especies del género *Persea* mediante ISSR del iniciador (GA)₈YC.

Figure 2. Example of amplified nuclear DNA fragments of species belonging to the genus *Persea* by ISSR of the primer (GA)₈YC.

These fragments were most abundant in most RAPD primers (Table 2), whereas in the ISSR were less abundant (Table 3); in the latter all primers showed 80% or more polymorphic fragments.

The overall banding pattern differed markedly between individuals; single bands were detected for each of the individuals, their number varying with RAPD (Table 4); however, with ISSR unique fragments were found for only some individuals. The band patterns detected for all primers were highly informative and distinctive for each of the individuals.

The data matrix for RAPD had 3808 characters of all 14 individuals, while for ISSR the matrix consisted of 1470 characters. These matrices were used to derive phylogenetic trees (phylogenograms) for RAPD and ISSR.

All individuals were different and there were no redundancies. The greatest genetic distance in the case of RAPD was 0.875, between *P. schiedeana* and *P. indica*, and the shortest was between *P. nubigena* and the possible hybrid *P. nubigena* x *P. americana*, with 0.511. For ISSR

distancia genética más lejana fue de 0.903 entre *P. gigantea* y *P. nubigena*, mientras que la menor distancia fue para el híbrido *P. nubigena* x *P. americana* y *P. americana* var. *drymifolia* ("Tochimilco") con una 0.604.

the greatest genetic distance was 0.903 between *P. gigantea* and *P. nubigena*, while the shortest was for the hybrid *P. nubigena* x *P. americana* and *P. americana* var. *drymifolia* ("Tochimilco") with 0.604.

Cuadro 4. Genotipos de *Persea* y fragmentos únicos de ADN genómico detectados mediante RAPD e ISSR.
Table 4. *Persea* Genotypes and unique fragments of genomic DNA detected by RAPD and ISSR.

Nombre designado	Especie, raza o parentesco	Fragmentos únicos RAPD	Fragmentos únicos ISSR
Indica	<i>P. indica</i>	1	3
Canelillo	<i>P. cinerascens</i>	5	0
Gigantea	<i>P. gigantea</i>	3	0
Floccosa	<i>P. floccosa</i>	2	1
Nubigena 1/7	Possible híbrido <i>P. nubigena</i> x <i>P. americana</i>	2	2
Martín Grande c	Híbrido <i>P. schiedeana</i> x <i>P. americana</i> var. <i>guatemalensis</i>	1	0
ScrMer7 S1	<i>P. americana</i> var. <i>guatenmalensis</i>	2	1
Rodeo 1	<i>P. nubigena</i>	2	1
CRM	<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>	3	0
Olanca2 S3	<i>P. americana</i> var. <i>guatenmalensis</i>	1	1
Tochimilco 1	<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>	2	1
Steyermarkii	<i>P. steyermarkii</i>	2	0
Lino	<i>P. shiedeana</i>	3	1
Lingue	<i>P. lingue</i>	5	2

Mediante RAPD los individuos formaron una marcada separación inicial que fue entre *P. indica* y el resto de los individuos, lo cual fue soportado por un alto valor de remuestreo (100%). La siguiente bifurcación fue de *P. lingue* con el restante de los individuos (Figura 3). La tercera bifurcación formó dos grupos que incluyeron a todo el subgénero *Persea*, con la excepción de *P. cinerascens*.

En el caso de RAPD la formación de un árbol filogenético resultó en separación y agrupación general conforme a la taxonomía indicada para el subgénero *Persea* (Williams, 1977) y parcial con la de todo el género *Persea* (Kopp, 1966). Donde fue marcada la separación de *P. indica*, especie de las Islas Canarias, España (Kopp, 1966) y que hasta hace unos años era la única *Persea* fuera de las Américas; sin embargo, se ha indicado la existencia de especies del género *Persea* en Asia designados dentro del subgénero *Machilus* (Chanderbali *et al.*, 2001). La separación clara de *P. indica* fue seguida por la de *P. lingue*, especie proveniente de Chile, por lo que la separación de estas dos primeras ramas del árbol incluyó a las dos especies del subgénero *Eriodaphne* del presente estudio, lo cual coincidió en otro estudio donde se dio la separación del subgénero *Persea* de *Eriodaphne* con secuencias ITS (Chanderbali *et al.*, 2001); sin embargo, en otro trabajo donde se consideró a 10 especies, tanto del

With RAPD, there was an initial separation between *P. indica* and the rest of the individuals, which was supported by a high bootstrap value (100%). The next bifurcation marked the separation between *P. lingue* and the rest of the individuals (Figure 3). The third branch formed two groups that included all the subgenus *Persea*, with the exception of *P. cinerascens*.

In the case of RAPD, the formation of a phylogenetic tree resulted in general separation and grouping according to the taxonomy indicated for the subgenus *Persea* (Williams, 1977), and partial separation and grouping with respect to the taxonomy of the whole genus *Persea* (Kopp, 1966). This marks the separation of *P. indica*, a species of the Canary Islands, Spain (Kopp, 1966), which until recently was the only *Persea* outside the Americas; however, indicated the existence of species of the genus *Persea* in Asia has been indicated, assigned to the subgenus *Machilus* (Chanderbali *et al.*, 2001). The clear separation of *P. indica* was followed by that of *P. lingue*, a species from Chile, so that the separation of these two first branches of the tree included the two species of the subgenus *Eriodaphne* of the present study, which coincided with another study where there was a separation of the subgenus *Persea* from *Eriodaphne* with ITS sequences (Chanderbali *et al.*, 2001). However, in another work where 10 species were considered, both of the subgenus *Persea* (six)

subgénero *Persea* (seis) y *Eriodaphne* (cuatro), así como las tres razas de aguacate, no se pudo separar los dos subgéneros con marcadores SSR (Mhameed *et al.*, 1997), pero si a *P. americana* del resto de las especies, y además dentro de *P. americana* se tuvo clara separación entre las razas.

and the subgenus *Eriodaphne* (four), as well as the three races of avocado, it was not possible to separate the two subgenera using SSR markers (Mhameed *et al.*, 1997), but *P. americana* could be separated from the rest of the species, and within *P. americana* a clear separation between the races was obtained.

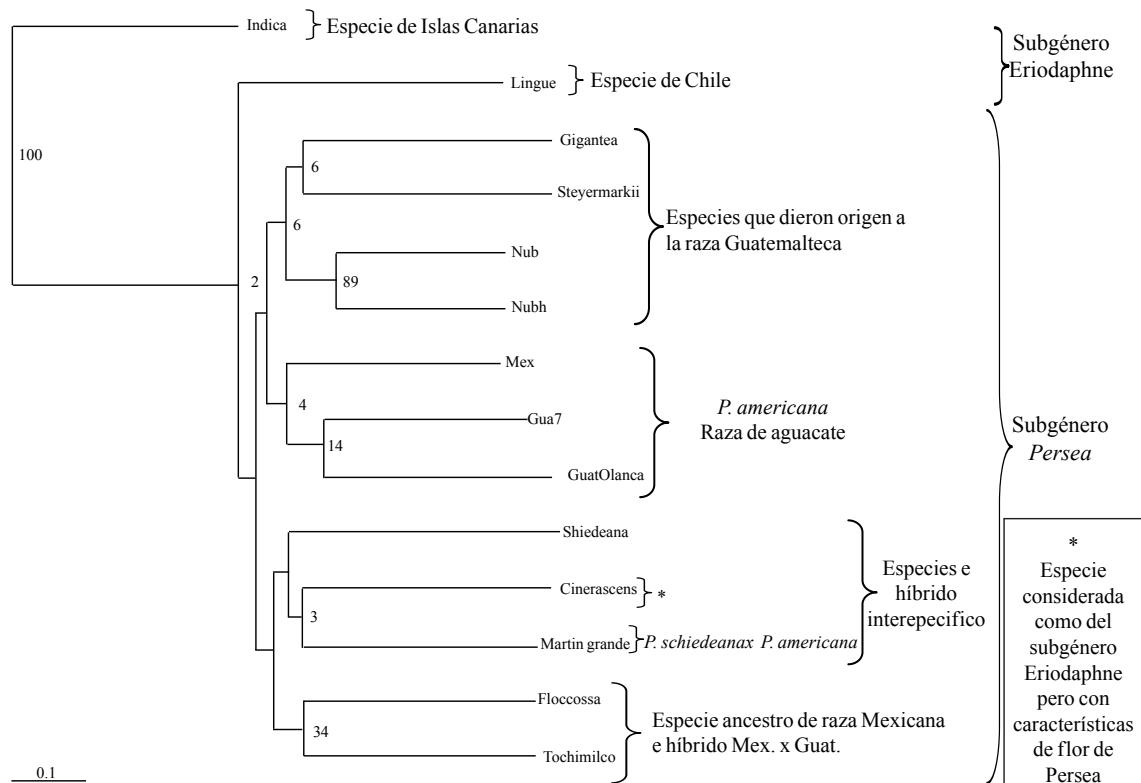


Figura 3. Filograma de 14 accesiones de *Persea* obtenido mediante RAPD, considerando un análisis estadístico combinado entre siete iniciadores, utilizando el índice Jaccard y el método Neighbor-joining con un remuestreo de 1 000 repeticiones (“bootstrap”).

Figure 3. Phylogram of 14 accessions of *Persea* obtained by RAPD, considering a combined statistical analysis of seven primers, using the Jaccard index and the Neighbor-joining method with a bootstrap of 1 000 replicates.

En el presente estudio tres individuos de *Persea americana* se agruparon y se pudieron separar, con excepción de "Tochimilco" que se agrupó con *Persea floccosa*, especie que se piensa es ancestro de *Persea americana* var. *drymifolia* (Scora y Bergh, 1990).

"Tochimilco" se estudió anteriormente con AFLP y se encontró dentro de un grupo muy específico de aguacates de la raza Mexicana donde se formaron un total de siete grupos de la raza Mexicana con una gran variación genética. Cabe indicar que los posibles antecesores de la raza Guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*) como *P. nubigena* (Williams 1977), *P. gigantea* y *P. steyermarkii* (Schieber y Zentmyer 1977), se agruparon y se separan del mismo nodo

In this study, three individuals were of *Persea americana* were grouped and could be separated, with the exception of "Tochimilco", which was grouped with *Persea floccosa*, a species thought to be the ancestor of *Persea americana* var. *drymifolia* (Scora and Bergh, 1990).

"Tochimilco" was previously studied with AFLP (Chao *et al.*, 1990) and was found to be within a very specific group of avocados of the Mexican race; a total of seven groups of the Mexican race were formed, with a great genetic variation. It is worth noting that the possible ancestors of the Guatemalan race (*P. americana* var. *guatemalensis*) such as *P. nubigena* (Williams 1977), *P. gigantea* and *P. steyermarkii* (Schieber and Zentmyer 1977), were grouped together and separated

donde se agrupó la raza Guatemalteca, referente a esto, se encontró mediante RFLP evidencia de que *P. nubigena* y *P. steyermarkii* pudieron dar origen a *P. americana* var. *guatemalensis* (raza Guatemalteca) (Furnier *et al.*, 1990), por lo que su cercanía concuerda con lo encontrado en el presente estudio.

La inclusión de *P. cinerascens* que es del subgénero *Eriodaphne* contrasta al agruparse con *P. schiedeana* y el híbrido interespecífico *P. schiedeana* x *P. americana* var. *guatemalensis*. *P. schiedeana* es la especie más distintiva del subgénero *Persea* y se ha encontrado que es altamente variable, donde probablemente existen razas dentro de *P. schiedeana* (Barrientos *et al.*, 1992) y por las evidencias encontradas con marcadores SSR donde se encontró alta variación en tres fuentes de *P. schiedeana* (Mhameed *et al.*, 1997). *P. cinerascens* tiene características intermedias entre los subgéneros *Persea* y *Eriodaphne* al igual que *P. pallida* y *P. rigens* (Kopp, 1966), como es la pubescencia en el pistilo que es característico del subgénero *Persea* y donde las especies del subgénero *Eriodaphne* no tienen pubescencia, de hecho se ha reportado la posible existencia de híbridos interespecíficos entre *P. cinerascens* y *P. americana* (García, 1973), por lo que es posible que comparta algunas características genéticas con *P. schiedeana*, ya que con los marcadores ISSR también se encontró una alta afinidad.

La separación de los individuos de acuerdo a la taxonomía clásica del aguacate, hasta el nivel de razas, ya había sido indicada con anterioridad, donde se pudieron separar con RAPD las tres razas (Fiedler *et al.* 1998) y la nueva posible raza Costaricensis (Ben-Ya'acov *et al.*, 1995), además que las mismas presentaron una distancia genética equidistantes, tal como ya lo había indicado anteriormente Bergh (1975) y de igual forma también con AFLP (Chao, 2003).

Es probable que esta separación conforme a la taxonomía se deba a que los marcadores moleculares de ADN genómico con base a RAPD usan iniciadores arbitrarios de oligonucleótidos de 10 bases y que toman al azar secuencias a lo largo de todo el genoma o sea muestreos al azar del mismo (Williams, 1990), lo cual no es el caso de otros marcadores moleculares de la categoría de anclados como los SSR (Zietkiewicz *et al.*, 1994), permitiendo a RAPD mostrar un aspecto general de similitudes.

En comparación con aloenzimas y microsatélites, existen algunas limitaciones y defectos de los RAPD, tales como marcadores de alelos dominantes y algunas veces baja

from the same node where the Guatemalan race was grouped; concerning this, RFLP allowed to find evidence that *P. nubigena* and *P. steyermarkii* could have been the origin of *P. americana* var. *guatemalensis* (Guatemalan race) (Furnier *et al.*, 1990), so their proximity agrees with the findings of the present study.

The inclusion of *P. cinerascens*, which belongs to the subgenus *Eriodaphne*, contrasts when grouped with *P. schiedeana* and the interspecific hybrid *P. schiedeana* x *P. americana* var. *guatemalensis*. *P. schiedeana* is the most distinctive species of the subgenus *Persea*, and it has been found to be highly variable; there are probably races within it (Barrientos *et al.*, 1992) and suggested by the evidence found with SSR markers which showed a high variation in three sources of *P. schiedeana* (Mhameed *et al.*, 1997). *P. cinerascens* has intermediate characteristics between the subgenera *Persea* and *Eriodaphne*, like *P. pallida* and *P. rigens* (Kopp, 1966); these characteristics include the pubescence of the pistil which is characteristic of the subgenus *Persea*. The species of the subgenus *Eriodaphne* do not show this pubescence; actually, it has been reported the possible existence of interspecific hybrids between *P. cinerascens* and *P. americana* (García, 1973), so it is possible that *P. cinerascens* shares some genetic features with *P. schiedeana*, given that a high affinity was also found with ISSR markers.

The separation of the individuals to the level of races, according to the classical taxonomy of avocado, was indicated previously, when it was possible to separate, with RAPD, the three races (Fiedler *et al.* 1998) and the new possible race Costaricensis (Ben-Ya'acov *et al.*, 1995); these races showed to be genetically equidistant to each other, as had been indicated by Bergh (1975), and similarly also with AFLP (Chao, 2003).

It is likely that this separation according to the taxonomy is due to the fact that genomic DNA molecular markers based on RAPD use arbitrary oligonucleotide primers of 10 bases, taking random sequences from the entire genome (i.e. random samplings) (Williams, 1990), which is not the case with anchored molecular markers such as the SSR markers (Zietkiewicz *et al.*, 1994). This random sampling allows RAPD to exhibit an overall outlook of similarities.

Compared with allozymes and microsatellites, RAPD has some limitations and shortcomings, such as dominant allele markers and sometimes low reproducibility, which may

reproductividad, lo cual pudo haber desalentado a muchos investigadores del uso de RAPD; sin embargo, sus ventajas pesan más que sus desventajas además de que se ha probado que al tener un buen control del perfil de temperatura en los tubos los fragmentos de RAPD son reproducibles (Penner *et al.*, 1993).

En el caso de ISSR los genotipos formaron una marcada separación inicial que fue entre *P. floccosa* y el resto de los individuos (Figura 4), lo cual estuvo sustentado por un alto valor de remuestreo (100%). La siguiente bifurcación fue de un grupo que abarcó dos individuos de *P. americana* var. *drymifolia* (raza Mexicana) y en otro grupo el restante de los individuos, incluyendo a los dos subgéneros.

have discouraged many researchers from using RAPD; however, its advantages outweigh its disadvantages (Sung and Wong, 2001), and it has been proven that, as it is possible to maintain good control of the temperature profile in the tubes, the RAPD fragments are reproducible (Penner *et al.*, 1993).

In the case of ISSR, the genotypes showed a pronounced initial separation between *P. floccosa* and the rest of the individuals (Figure 4), which was supported by a high bootstrap value (100%). The next bifurcation marks the separation between a group that included two individuals of *P. americana* var. *drymifolia* (Mexican race) and the rest of the individuals, including the two subgenera.

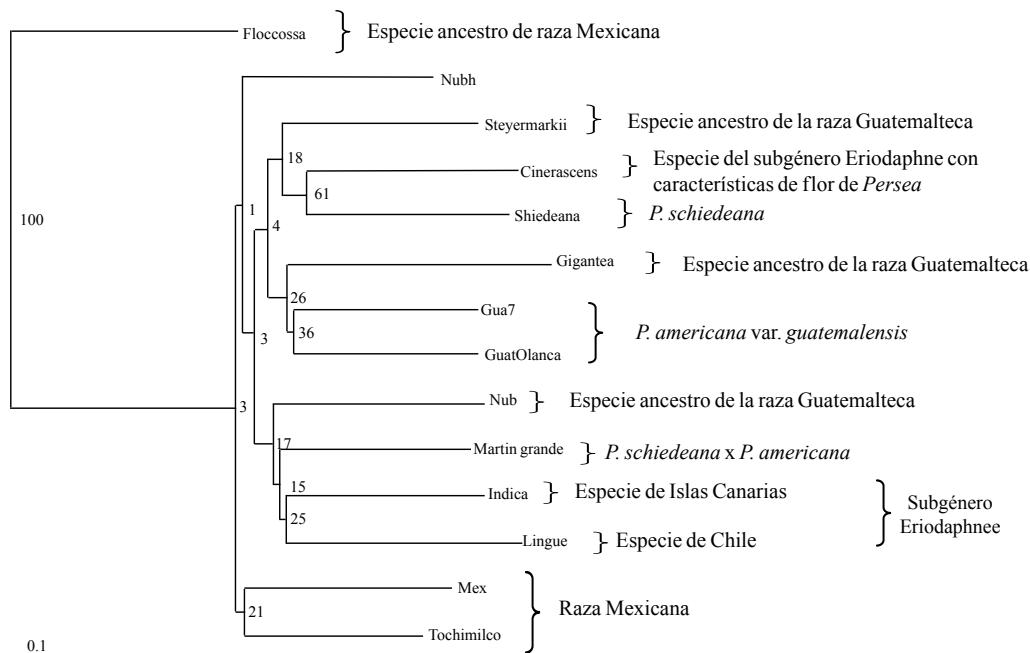


Figura 4. Filograma de 14 accesiones de *Persea* obtenido mediante RAPD, considerando un análisis estadístico combinado entre cinco, utilizando el índice Jaccard y el método Neighbor-joining con un remuestreo de 1 000 repeticiones (“bootstrap”).

Figure 4. Phylogram of 14 accessions of *Persea* obtained by RAPD, considering a combined statistical analysis between five of them, using the Jaccard index and the Neighbor-joining method with a bootstrap of 1 000 replicates.

La separación con ISSR no fue como en RAPD, ya que no concordó con la taxonomía clásica de *Persea*. Sin embargo, si permitió diferenciar todos los genotipos. Los marcadores ISSR se piensa que son particularmente útiles para el estudio de individuos relativamente cercanos que exhiben bajos niveles de polimorfismo (Zietkiewicz *et al.*, 1994) y se han utilizado exitosamente como una buena alternativa para obtener la huella genética y análisis genético en especies frutales incluyendo a los cítricos (*Citrus spp.*) (Fang y Roose, 1997; Fang *et al.*, 1998), vid (*Vitis vinifera L.*) (Moreno *et al.*, 1998), grosella (*Ribes*

The separation with ISSR was not like the one with RAPD, as it did not agree with the classical taxonomy of *Persea*. However, it allowed to differentiate all the genotypes. ISSR markers are thought to be particularly useful for studying relatively close individuals exhibiting low levels of polymorphism (Zietkiewicz *et al.*, 1994); it has been successfully used as a good alternative for obtaining the genetic fingerprinting and the genetic analysis of fruit trees, including citrus (*Citrus* spp.) (Fang and Roose, 1997; Fang *et al.*, 1998), grapevine (*Vitis vinifera* L.) (Moreno *et al.*, 1998), currant (*Opuntia*)

grossularia) (Lanham y Brennan, 1999) y ciruelo (*Prunus* sp.) (Goulão *et al.*, 2001) y nopal tunero (*Opuntia* spp.) (Luna-Páez *et al.*, 2007).

En el presente estudio, con ISSR se agruparon algunos individuos con características en común como a los dos individuos de la raza Mexicana, a los dos individuos de la raza Guatemalteca, y a *Persea lingue* y *Persea indica* del género *Eriodaphne* (Kopp, 1966). No así a *P. nubigena*, al posible híbrido *P. nubigena* x *P. americana*, *P. gigantea* y *P. steyermarkii*, que son especies que se sabe dieron origen a la raza Guatemalteca (Furnier *et al.*, 1990), donde se mostraron dispersos en cuadro ramificaciones diferentes. Algo parecido sucedió con *P. schiedeana* y el híbrido interespecífico *P. schiedeana* x *P. americana* var. *guatemalensis* (Ellstrand *et al.*, 1986), que también se ubicó en ramificaciones distintas, al igual que *P. cinerascens* y *P. floccosa*.

Al respecto es marcada la falta de afinidad entre las especies e híbridos tanto del subgénero *Persea* (con excepción de las razas de *P. americana*) como de *Eriodaphne*, lo anterior también se ha encontrado con marcadores SSR para especies diferentes a *P. americana* cuando se analizaron junto a esta última (Mhameed *et al.*, 1997), donde sí se pudo separar las tres razas de aguacate del resto de las especies.

En general los resultados indicaron que el género *Persea* es polifilético tal como se ha planteado (Chanderbali *et al.*, 2001), así como *P. americana* (Furnier *et al.*, 1990). Sin embargo, indudablemente se debe abarcar una buena cantidad de genotipos para un estudio futuro con el fin de confirmar lo encontrado.

Se concluye que tanto los marcadores basados en RAPD e ISSR fueron útiles para diferenciar los diferentes individuos de *Persea* estudiados. Sin embargo, los marcadores RAPD presentaron un amplio polimorfismo y permitió una agrupación congruente en general con la taxonomía.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero a través del Proyecto clave 61 “Estudio de las relaciones genéticas entre especies del género *Persea* subgénero *Persea*” de la Red Aguacate del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura SNICS-SAGARPA del Gobierno Federal de México.

(Lanham and Brennan, 1999), plum (*Prunus* sp.) (Goulão *et al.*, 2001), and prickly pear (*Opuntia* spp.) (Luna-Páez *et al.*, 2007).

In the present study, some individuals with common characteristics were grouped with ISSR, such as two individuals of the Mexican race, two individuals of the Guatemalan race, and *Persea lingue* and *Persea indica*, of the genus *Eriodaphne* (Kopp, 1966). No groupings were made of *P. nubigena*, the possible hybrid *P. nubigena* x *P. americana*, *P. gigantea* and *P. steyermarkii*, which are species known to have originated the Guatemalan race (Furnier *et al.*, 1990), all of which were scattered among different branches. Something similar happened with *P. schiedeana* and the interspecific hybrid *P. schiedeana* x *P. americana* var. *guatemalensis* (Ellstrand *et al.*, 1986), which were also located in different branches, like *P. cinerascens* and *P. floccosa*.

In this regard, the lack of affinity between species and hybrids of both the subgenus *Persea* is very marked (excepting the races of *P. americana*) and *Eriodaphne*. This was found also for species other than *P. americana* when analyzing them together with SSR markers (Mhameed *et al.*, 1997); in this case it was possible to separate the three races of avocado from the other species.

In general, the results indicated that the genus *Persea* is polyphyletic, as has been proposed (Chanderbali *et al.*, 2001), and as is also the case with *P. americana* (Furnier *et al.*, 1990). However, these findings should undoubtedly be confirmed by studying a large amount of genotypes.

We conclude that markers based on both RAPD and ISSR were useful in differentiating the various *Persea* individuals studied. However, RAPD markers exhibited a wide polymorphism, allowing us to define groups congruent with the taxonomy.

End of the English version



Literatura citada

- Ashworth, V. T. M. and Clegg, M. T. 2003. Microsatellite markers in avocado (*Persea americana* Mill.): Genealogical relationships among cultivated avocado genotypes. *J. Heredity* 94:407-415.
 Barrientos-Priego, A. F.; Borys, M. W.; Escamilla-Prado, E.; Ben-Yaacov, A.; De La Cruz-Torres, E. and López-López, L. 1992. A study of the avocado germplasm resources, 1988-1990. IV. Findings in the Mexican Gulf region. *Proceedings of the Second World Avocado Congress I*:551-558.

- Barrientos-Priego, A. F.; Muñoz-Pérez, R.; Borys, M. W. y Martínez-Damián, M. T. 2007. Taxonomía, cultivares y portainjertos. In: Téliz, D.; Mora, A. (Ed.). El aguacate y su manejo integrado. 2^a edición. Mundi-Prensa México, S. A. de C. V. México, D. F. 30-62 pp.
- Ben-Yaacov, A.; Solís Molina, A. and Peri, E. 1995. Progress of the study of avocado genetic resources. II. The avocado genetic resources in Costa Rica. Program and book of abstracts of the world avocado Congress III. October 22-27. Tel Aviv, Israel. 109 pp.
- Bergh, B. O. 1975. Avocados. In: Janick, J.; Moore, J. N. (Ed.). Advances in fruit breeding. Purdue University Press. West Lafayette, USA. 541-567 pp.
- Campos, R.; Terrazas, E. T. and López-Mata, L. 2006. *Persea* (avocados) phylogenetic analysis based on morphological characters: hypothesis of species relationships. Genetic Resources and Crop Evolution 54:249-258.
- Chanderbali, A. S.; van der Werff, H. and Renner, S. S. 2001. Phylogeny and historical biogeography of Lauraceae: evidence from the chloroplast and nuclear genomes. Annals of the Missouri Botanical Garden 88:104-134.
- Chao, T. 2003. Marcadores AFLP en aguacate (entrevista). University of California Riverside. Riverside, USA.
- Chao, C. T.; Barrientos-Priego, A. F.; Reyes-Alemán, J. C. and Devanand, P. S. 2003. Genetic relationships among accessions from California and Mexico characterized by AFLP markers. Word Avocado Congress V. Málaga, España. 208-209 pp.
- Davis, J.; Henderson, D.; Kobayashi, M.; Clegg, M. T. and Clegg, M. T. 1998. Genealogical relationships among cultivated avocado as revealed through RFLP analyses. J. Heredity 89:319-323.
- Demey, J. R.; Zambrano, A. Y. y Fuenmayor, F. 2003. Relación entre caracterizaciones molecular y morfológica en una colección de yuca. Interciencia 28(12):684-689.
- Ellstrand, N. C.; Lee, J. M.; Bergh, B. O.; Coffey, M. D. and Zentmyer, G. A. 1986. Isozymes confirm hybrid parentage for 'G755' selections. California Avocado Society Yearbook 70:99-203.
- Fang, D. Q.; Krueger, R. R. and Roose, M. L. 1998. Phylogenetic relationships among selected Citrus germplasm accessions revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 123:612-617.
- Fang, D. Q. and Roose, M. L. 1997. Identification of closely related citrus cultivars with inter-simple sequence repeat markers. Theoretical and Applied Genetics 95:408-417.
- Fiedler, J.; Bufler, G. and Bangerth, F. 1998. Genetic relationships of avocado (*Persea americana* Mill.) using RAPDS markers. Euphytica 101:249-255.
- Furnier, G. R.; Cummings, M. P. and Clegg, M. T. 1990. Evolution of the avocados as related by DNA restriction fragment variation. J. Heredity 81:183-188.
- Gama, C. L. M. 1994. Studies on the systematic and ethobotany of the subgenus *Persea*. Ph.D. Thesis. University of California Riverside. Riverside, USA. 294 p.
- Goulão, L.; Monte-Corvo, L. and Oliveira, C. M. 2001. Phenetic characterization of cultivars of plum (*Prunus* sp.) by high multiplex ratio markers: amplified fragment length polymorphisms and inter-simple sequence repeats. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 126:72-77.
- Hampl, V.; Pavláček, A. and Flegr, J. 2001. Construction and bootstrap analysis of DNA fingerprinting-based phylogenetic trees with the freeware program FreeTree: application to trichomonad parasites. International J. Sys. Ev. Microbiol. 51:731-735. J.
- Accard, P. 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bulletin Société Vaudoise des Sciences Naturelles 44:223-270.
- Kopp, L. E. 1966. A taxonomic revision of the genus *Persea* in the western hemisphere Persea-Lauraceae). Memoirs of the New York Botanical Garden 14:1-120.
- Lanham, P. G. and Brennan, R. M. 1999. Genetic characterization of gooseberry (*Ribes grossularia* subgenus *Grossularia*) germplasm using RAPD, ISSR and AFLP markers. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 74:361-366.
- Luna-Páez, A.; Valadez-Moctezuma, E.; Barrientos-Priego, A. F. and Gallegos-Vázquez, C. 2007. Caracterización de *Opuntia* spp. mediante semilla con marcadores moleculares RAPD e ISSR y su posible uso para diferenciación. Journal of the Professional Association for Cactus Development 9:43-59.
- Moreno, S.; Martín, J. P. and Ortiz, J. M. 1998. Inter-simple sequence repeats PCR for characterization of closely related grapevine germplasm. Euphytica 101:117-125.
- Mhameed, S.; Sharon, D.; Kaufman, D.; Lahav, E.; Hillel, J.; Degani, C. and Lavi, U. 1997. Genetic relationships within avocado (*Persea americana* Mill.) cultivars and between species. Theoretical and Applied Genetics 94:279-286.
- Page, R. D. 1996. TREEVIEW: an application to display phylogenetic trees on personal computers. Computer Applications in Biosciences 12:357-358.
- Pavláček, A.; Hradá, S. and Flegr, J. 1999. Free-Tree--freeware program for construction of phylogenetic trees on the basis of distance data and bootstrap/jackknife analysis of the tree robustness. Application in the RAPD analysis of genus *Frenkelia*. Folia Biológica 45:97-99.
- Penner, G. A.; Bush, A.; Wise, R.; Kim, W.; Domier, L.; Kasha, K.; Laroche, A.; Scoles, G.; Molnar, S. J. and Fedak, G. 1993. Reproducibility of random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis among laboratories. PCR Methods and Applications 2:341-345.
- Saghai-Marof, M. A.; Soliman, K. M.; Jorgensen, R. A. and Allard, R. W. 1984. Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics (ribosomal DNA spacer-length variation/restriction fragment-length polymorphisms/Rrn1/Rrn2). Proceedings of the National Academy of Science 81:8014-8018.
- Saitou, N. and Nei, M. 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. Molecular Biol. Ev. 4:406-425.
- Schnell, R. J.; Brown, J. S.; Olano, C. T.; Power, E. J.; Krol, C. A.; Kuhn, D. N. and Motamayor, J. C. 2003. Evaluation of avocado germplasm using microsatellite markers. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 128:881-889.
- Scora, R. W. and Bergh, B. O. 1990. The origin and taxonomy of avocado (*Persea americana* Mill.). Lauraceae. Acta Hortic. 275:387-394.
- Sun, M. and Wong, K. C. 2001. Genetic structure of three orchid species with contrasting breeding systems using RAPD and allozyme markers. Am. J. Bot. 88:2180-2188.
- van der Werff, H. 2002. A synopsis of *Persea* (Lauraceae) in Central America. Novon 12:575-586.

- Williams, J. G. K.; Kubelik, A. R.; Livak, J. K.; Rafalski, J. A. and Tingey, S. V. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers useful as genetic markers. Nucleic Acid Research 8:6531-6535.
- Williams, L. O. 1977. The avocado, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. Econ. Bot. 31:315-320.
- Whitkus, R.; de la Cruz, M.; Mota-Bravo, L. and Gómez-Pompa, A. 1998. Genetic diversity and relationships of cacao (*Theobroma cacao* L.) in southern Mexico. Theoretical Appl. Genetics 96:621-627.
- Zietkiewicz, E.; Rafalski, A. and Labuda, D. 1994. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. Genomics 20:176-183.

Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte*

Evaluation of native avocados in the northern region of Nuevo León, Mexico

Efraín Acosta Díaz¹, Isidro Humberto Almeyda León^{1§} e Ismael Hernández Torres¹

¹Campo Experimental General Terán- INIFAP. Carretera Montemorelos-China, km 31. General Terán, Nuevo León. C. P. 76400. A.P. 3. (almeyda.isidro@inifap.gob.mx), (hernandez.ismael@inifap.gob.mx). §Autor para correspondencia: acosta.efrain@inifap.gob.mx.

Resumen

El estado de Nuevo León, México, forma parte del centro de origen de la raza Mexicana de aguacate (*Persea americana* Mill. var. *drymifolia*). En la región norte se cultivan variedades criollas en huertos comerciales y en traspatios, predominando la utilización de las variedades Pepe y Negro Santos (variedades locales). Estas variedades se caracterizan por presentar un ciclo intermedio y tardío respectivamente de acuerdo a la época de cosecha, lo cual limita que la producción en esa región se concentre en un período relativamente corto. El objetivo de esta investigación fue caracterizar un grupo de variedades criollas de aguacate en la región norte del estado de Nuevo León mediante caracteres morfológicos de los frutos. Se utilizaron 19 variedades incluyendo las variedades Pepe y Negro Santos (testigos locales), presentes en dos huertas comerciales en los municipios de Sabinas Hidalgo y Bustamante, Nuevo León. Se determinaron siete materiales con características morfológicas similares que las variedades Pepe y Negro Santos, las cuales se clasificaron en cuatro grupos. El primer grupo está formado por una variedad con características del fruto similares a la variedad Pepe y período temprano en la época de cosecha. El segundo grupo está integrado por cuatro variedades con características del fruto similares a las variedades Pepe y Negro Santos y período intermedio en la época de cosecha. El tercer grupo está constituido por una variedad

Abstract

The state of Nuevo León, Mexico, is part of the center of origin of the Mexican race of avocado (*Persea americana* Mill var. *drymifolia*). Avocado landraces are grown in the northern region, in commercial orchards and backyards, predominantly using the Pepe and Negro Santos varieties (local varieties). These varieties are characterized by having an intermediate and delayed cycle, respectively, according to the harvest season, which restricts the production of avocado in that region to a relatively short period. The purpose of this study was to characterize a group of native varieties of avocado from the northern region of the state of Nuevo León through the morphological characters of the fruits. We used 19 varieties, including the varieties Pepe and Negro Santos (local controls), present in two commercial orchards in the municipalities of Sabinas Hidalgo and Bustamante, Nuevo León. We determined seven materials with similar morphological characteristics to the varieties Pepe and Negro Santos and classified them into four groups. The first group consisted of a variety of fruit with characteristics similar to the Pepe variety and an early harvest period. The second group consisted of four fruit varieties with characteristics similar to the Pepe and Negro Santos varieties and an intermediate harvest period. The third group consisted of a variety with different fruit characteristics from the Pepe and Negro Santos varieties, an intermediate harvest period and green fruits. The fourth group consisted of a variety with fruit characteristics similar to the Pepe and Negro Santos varieties,

* Recibido: julio de 2012

Aceptado: marzo de 2013

con características del fruto diferente a las variedades Pepe y Negro Santos, período intermedio a la época de cosecha y los frutos son de color verde. El cuarto grupo está integrado por una variedad con características del fruto similares a las variedades Pepe y Negro Santos, con un período tardío a la época de cosecha. Los resultados obtenidos sugieren que existe una amplia variación en los materiales criollos de aguacate cultivados en la región norte del estado de Nuevo León, lo cual se constituye como una alternativa para diversificar la producción y no depender exclusivamente de las variedades Pepe y Negro Santos.

Palabras claves: *Persea americana* Mill., caracterización morfológica, recursos genéticos, variedades criollas.

Introducción

El aguacate es originario de las áreas montañosas del centro y este de México, y de las partes altas de Guatemala (Williams, 1977), de donde se ha distribuido al resto del mundo (Barrientos y López, 2002). En la actualidad se reconocen tres razas: la Mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), la Guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*) y la Antillana (*P. americana* var. *americana*). Estas tres razas se pueden diferenciar sobre la base de sus características morfológicas, fisiológicas y de cultivo (Bergh, 1995; Bergh and Lahav, 1996). La mayoría de las variedades comerciales de aguacate son híbridos interraciales desarrollados a partir del intercambio de materiales entre las diferentes razas. De esta manera, los más importantes cultivares de climas subtropicales, como el 'Hass', 'Bacon' y 'Fuerte', son producto de las cruzas entre las razas Mexicana y Guatemalteca y tienen diferente grado de hibridación (Newett *et al.*, 2002).

En general, la raza Mexicana incluye variedades nativas con nombres locales, producen frutos que se consumen y comercializan localmente y se usan como pie de injerto para el cultivar 'Hass', que es el más distribuido en el mundo (Fiedler *et al.*, 1998) y México es el principal exportador a nivel mundial (SAGARPA, 2007). Los hallazgos de aguacates primitivos desde la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León, México, hasta Costa Rica en Centroamérica, apoyan la hipótesis de que se trata de un centro de origen del aguacate y probablemente de todo el subgénero *Persea* (Sánchez Pérez, 1999a; Sánchez Pérez, 2007). En los municipios de Aramberri y Zaragoza, y muy

with a late harvest period. The results suggest that there is a wide variation in the avocado landraces grown in the northern region of the state of Nuevo León, which allows the opportunity to diversify the production and not rely solely on the Pepe and Negro Santos varieties.

Key words: *Persea americana* Mill., genetic resources, landraces, morphological characterization,

Introduction

The avocado is native to the mountainous areas of central and eastern Mexico, and to the highlands of Guatemala (Williams, 1977), from where it is distributed to the rest of the world (Barrientos and López, 2002). Three races are currently recognized: Mexican (*Persea americana* var. *drymifolia*), Guatemalan (*P. americana* var. *guatemalensis*) and Antillean (*P. americana* var. *americana*). These three races can be differentiated on the basis of their morphological, physiological and culture characteristics (Bergh, 1995; Bergh and Lahav, 1996). Most commercial varieties of avocado are interracing hybrids developed from the exchange of materials between the different races. Thus, the most important subtropical cultivars such as 'Hass', 'Bacon' and 'Fuerte', are the result of crosses between the Mexican and Guatemalan races and have different degrees of hybridization (Newett *et al.*, 2002).

In general, the Mexican race includes native varieties with local names, produces fruits that are consumed and sold locally, and that are also used as scions for the 'Hass' cultivar, the most widespread variety in the world (Fiedler *et al.*, 1998), of which Mexico is the largest exporter worldwide (SAGARPA, 2007). The findings of primitive avocados from the Sierra Madre Oriental in the state of Nuevo León, Mexico, to Costa Rica in Central America, support the hypothesis that this is the center of origin of avocado and probably of the entire subgenus *Persea* (Sánchez- Pérez, 1999a; Sánchez-Pérez, 2007). In the municipalities of Aramberri and Zaragoza, and particularly in the higher parts of the Sierra Madre Oriental, where the tributaries of the Río Blanco are born in Zaragoza, it is still possible to find wild plants of *P. americana* as part of the natural vegetation, the morphological characteristics of which contrast with the cultivated landraces (Gutiérrez *et al.*, 2009).

The multiple hybridizations occurred in different ecological environments in Mexico and Central America originated the edible avocado. Thus, in the American regions where

particularmente en las partes altas de la Sierra Madre Oriental, en donde nacen los afluentes del Río Blanco en Zaragoza, aún es posible encontrar plantas silvestres de *P. americana* como parte de la vegetación natural, cuyas características morfológicas son contrastantes a las variedades criollas cultivadas (Gutiérrez *et al.*, 2009).

Las múltiples hibridaciones ocurridas en diferentes ambientes ecológicos de México y Centroamérica dieron origen al aguacate comestible. Así, en las regiones americanas en donde el aguacate se cultiva desde tiempos precolombinos, la producción proviene de fuentes distintas de árboles nativos o criollos y cultivares selectos reproducidos asexualmente, en los cuales el sabor y los valores nutritivos varían según el tipo ecológico (Mijares y López, 1998). Esta misma situación se presenta en Nuevo León, en donde se cultivan varios materiales nativos o criollos, tanto en sistemas tradicionales de huertos comerciales como de traspatio en los municipios de Sabinas Hidalgo, Bustamante, San Nicolás de los Garza y Monterrey, en la región norte; Santiago, Allende, Rayones, Montemorelos, General Terán, Linares y Hualahuises, en la región centro; Aramberri y Zaragoza, en la región sur. En estos dos últimos municipios existen variantes cultivadas, con características fenológicas y morfológicas contrastantes, tanto en huertas comerciales como de traspatio (Acosta *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2009).

El aguacate posee valiosas propiedades alimenticias por su alto contenido de aceite (de 12 a 30%) y proteína (de 3 a 4%), además de su contenido de hidratos de carbono, vitaminas y minerales. Estas propiedades le confieren grandes posibilidades para el aumento en su consumo en la dieta humana. En los últimos años se ha desarrollado su industrialización en la producción de alimentos, extracción de aceites y productos farmacológicos (Rodríguez, 1992; Kritchevsky *et al.*, 2003; Ortiz *et al.*, 2004).

Los sistemas tradicionales de producción de aguacate nativo son considerados como importantes centros de experimentación, introducción de plantas y mejoramiento empírico, así como refugios de diversidad genética única que albergan genes que aún no han sido estudiados (Gutiérrez *et al.*, 2009). Ésta diversidad genética representa un recurso potencial para los programas de mejoramiento genético de *Persea*; sin embargo, en la actualidad es importante considerar la pérdida de la diversidad genética debido a que la tendencia del mejoramiento genético empírico ha sido la obtención y explotación de dos variedades (Pepe y

avocados are grown from pre-Columbian times, they are produced from sources other than native trees or landraces and select cultivars propagated asexually, in which the taste and nutritional values vary depending on the ecological type (Mijares and López, 1998). The same situation occurs in Nuevo León, where various native materials or landraces are grown, both within traditional systems of commercial orchards and backyard gardens in the municipalities of Sabinas Hidalgo, Bustamante, San Nicolás de los Garza and Monterrey in the northern region; Santiago, Allende, Rayones, Montemorelos, General Terán, Linares and Hualahuises in the central region; Aramberri and Zaragoza in the southern region. In the latter two municipalities there are cultivated variants with contrasting phenological and morphological characteristics, both in commercial orchards and backyard gardens (Acosta *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2009).

The avocado fruit has valuable nutritional properties because of its high oil (12 to 30%) and protein (3 to 4%) content, in addition to its content of carbohydrates, vitamins and minerals. These properties give it great potential for its increased consumption in the human diet. The industrialization of avocado production has been developed in recent years for food production, extraction of oils and for its use in pharmacological products (Rodríguez, 1992; Kritchevsky *et al.*, 2003; Ortiz *et al.*, 2004).

Traditional systems of native avocado production are considered important centers of experimentation, plant introduction and empirical improvement, and also refuges of unique genetic diversity containing genes that have not yet been studied (Gutiérrez *et al.*, 2009). This genetic diversity represents a potential resource for breeding programs of *Persea*; however, nowadays it is important to consider the loss of genetic diversity caused by the tendency of breeding to produce and exploit only two varieties (Pepe and Negro Santos), which predominate in most commercial plantations in the northern region of the state of Nuevo León.

These varieties are characterized by having an intermediate and a late harvest cycle, respectively, which restricts their production to a relatively short period. According to local producers, the fruits of these varieties have the characteristics that the market demands. They have, therefore, expressed their interest in being able to count on a greater number of varieties with different harvest cycles but with fruit characteristics similar to those of the Pepe and Negro Santos varieties. The use of rootstocks from these and other landraces has been the basis for the production of the 'Hass' avocado

Negro Santos), las cuales predominan en la mayoría de las plantaciones comerciales en la región norte del estado de Nuevo León.

Estas variedades se caracterizan por presentar un ciclo de inicio de cosecha intermedio y tardío, respectivamente, lo cual limita que su producción se concentre en un periodo relativamente corto. De acuerdo con los productores de la región, los frutos de dichas variedades reúnen las características que el mercado demanda. Ante esta situación, los productores han externado su interés de contar con un mayor número de variedades de diferentes ciclos de inicio de cosecha, con frutos de características morfológicas similares a Pepe y Negro Santos. El uso de portainjertos de éstas u otras variedades criollas ha sido la base de la producción de aguacate 'Hass' en las principales áreas cultivadas en el mundo. Las variedades criollas también son fuente de genes de resistencia a plagas y enfermedades para las variedades comerciales de aguacate, además, el fruto de estas variedades se consumen localmente y tiene mucha demanda (Sánchez-Pérez, 1999a).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar un grupo de variedades criollas de aguacate en la región norte del estado de Nuevo León, mediante caracteres morfológicos de los frutos, que permitan encontrar alternativas para diversificar la producción de aguacate y reducir el uso casi exclusivo de las variedades Pepe y Negro Santos.

Materiales y métodos

Localidad, condiciones agroclimáticas y manejo del cultivo

La investigación se desarrolló durante 2010 en dos huertos comerciales de aguacate criollo establecidos en condiciones de riego, en los municipios de Sabinas Hidalgo ($26^{\circ} 29' 59''$ latitud norte, $100^{\circ} 9' 48''$ longitud oeste y 313 msnm) y Bustamante ($26^{\circ} 31' 30''$ latitud norte, $100^{\circ} 28' 24''$ longitud oeste y 425 msnm), en los municipios de Sabinas Hidalgo y Bustamante, respectivamente, Nuevo León, México. Estos municipios se caracterizan por presentar un clima estepario semiseco (BS1), con un régimen de lluvias en verano que varía de 300 a 500 mm anuales (Medina García *et al.*, 1998). Los suelos pertenecen al tipo Xerosol (FAO, 1989), de textura franco arcillosa, con más de 1 m de profundidad, pH ligeramente alcalino (7.3) y pobres en materia orgánica (1.5%). Los huertos son familiares, con la utilización de

que es cultivado en las principales áreas de cultivo en el mundo. Landraces son una fuente de genes para la resistencia a plagas y enfermedades para las variedades comerciales de aguacate; además, el fruto de estas variedades es consumido localmente y tiene mucha demanda (Sánchez-Pérez, 1999a).

The aim of this study was to characterize a group of native varieties of avocado in the northern region of the state of Nuevo León through the morphological characters of fruits, with the intention of finding alternative varieties that can be used to diversify the production of avocado and reduce the almost exclusive use of the Pepe and Negro Santos varieties.

Materials and methods

Location, agro-climatic conditions and crop management

The research was conducted during 2010 in two commercial orchards of native avocado under irrigated conditions in the towns of Sabinas Hidalgo ($26^{\circ} 29' 59''$ N, $100^{\circ} 9' 48''$ W and 313 masl) and Bustamante ($26^{\circ} 31' 30''$ N, $100^{\circ} 28' 24''$ W and 425 masl), in the municipalities of Sabinas Hidalgo and Bustamante, respectively, Nuevo Leon, Mexico. These municipalities are characterized by having a semi-dry steppe climate (BS1), with summer rainfall ranging from 300 to 500 mm annually (Medina *et al.*, 1998). The soils belong to the Xerosol type (FAO, 1989) of clay loam texture, more than 1 m deep, slightly alkaline pH (7.3) and poor in organic matter (1.5%). The orchards are managed by family units, using traditional technologies, few farm inputs and flood irrigation. The distance between rows and between trees varies in the orchards.

Genetic material

19 avocado landraces were used from two commercial orchards in the municipalities of Sabinas Hidalgo and Bustamante, Nuevo Leon, chosen while visiting the zone in coordination with owners of orchards and technical staff of the Department of Agricultural Development (DDA) of the Municipal Governments, from February to March 2010. These varieties represent the greater variability of native material in the north of the state, which are known by local names (Table 1).

Harvest time and shelf life

The harvest season was defined based on the date when the first fruits were ready for harvest (IPGRI, 1995). The shelf life was determined as the number of days from

tecnologías tradicionales de bajo uso de insumos agrícolas, en condiciones de riego por inundación. La distancia entre hileras y entre árboles varía en los huertos.

Material genético

Se utilizaron 19 variedades criollas de aguacate, provenientes de dos huertos comerciales, en los municipios de Sabinas Hidalgo y Bustamante, Nuevo León, determinadas en recorridos realizados en coordinación con propietarios de los huertos y personal técnico de la Dirección de Desarrollo Agropecuario (DDA) de las Presidencias Municipales, durante febrero y marzo de 2010. Estas variedades representan la mayor variabilidad de material criollo en la región norte del estado, las cuales se conocen con nombres locales (Cuadro 1).

Época de cosecha y vida de anaquel

La época de cosecha fue definida con base en la fecha en que los primeros frutos estuvieron listos para su cosecha (IPGRI, 1995). La vida de anaquel se determinó como el número de días transcurridos a partir de la época de cosecha del fruto hasta madurez de consumo, para lo cual los frutos se colocaron a granel en una caja de cartón a una temperatura constante de 20 °C.

Cuadro 1. Nombre local de las variedades de aguacate criollo seleccionadas en los municipios de Sabinas Hidalgo y Bustamante, Nuevo León, México.

Table 1. Local name of the selected native varieties of avocado in the municipalities of Sabinas Hidalgo and Bustamante, Nuevo León, Mexico.

Nombre local	Municipio	Nombre local	Municipio
Anita	SH	Rodriguez	SH
Pepe	SH	Pecoso	SH
Floreño	SH	Pila	SH
Blanquito	SH	Salazareño	SH
Fosa	SH	Negro Santos	B
Cuervo	SH	Especial	B
Pera	SH	Criollo-1	B
Verde Pérez	SH	Criollo-2	B
Sabroso	SH	Criollo-3	B
Chapeño	SH		

SH= Sabinas Hidalgo; B= Bustamante.

Características morfológicas del fruto

Se evaluaron seis muestras de frutos maduros, en los cuales de manera visual se determinaron las características cualitativas, forma del fruto y el color de la epidermis del fruto. En éstas muestras también se determinaron las

the time of harvest of the fruit to ripeness, for which the fruits were placed in bulk in a cardboard box at a constant temperature of 20 °C.

Morphological characteristics of the fruit

Six samples of ripe fruits were evaluated; the qualitative characteristics, fruit shape and color of the fruit epidermis, were determined visually. The quantitative morphological characteristics of these samples were determined according to the morphological descriptors for avocado fruit of the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1995): peduncle length, polar diameter and equatorial diameter in centimeters; weight of fruit mesocarp and seed weight in grams. We then calculated the proportion between mesocarp fruit as the ratio of the weight of the mesocarp and the weight of the fruit.

Statistical analysis

The shelf life and the morphological measurements of the fruit, peduncle length, length and width of the leaf, polar diameter and equatorial diameter of the fruit, fruit weight, mesocarp weight and seed weight, as well as the mesocarp/

fruit ratio, all were subjected to analysis of variance, using the names of the varieties as treatments in a completely randomized design with six replicates using the statistical package MSTATC (Freed *et al.*, 1991). The least significant difference test (LSD) was used for comparing the means, at a level of significance of 0.05.

características morfológicas cuantitativas, de acuerdo con los descriptores morfológicos para fruto de aguacate del International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1995): longitud del pedúnculo, diámetro polar y diámetro ecuatorial, en centímetros; peso del fruto, peso del mesocarpio y peso de semilla, en gramos. Posteriormente se calculó la proporción mesocarpio/fruto como el cociente entre el peso del mesocarpio y el peso del fruto.

Análisis estadístico

La vida de anaquel y las medidas morfológicas del fruto, longitud del pedúnculo, longitud y ancho de la hoja, diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto, peso del fruto, peso del mesocarpio y peso de semilla, así como la relación mesocarpio/fruto, fueron sometidos a análisis de varianza, con los nombres de las variedades como tratamientos en un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones, con el paquete estadístico MSTATC (Freed *et al.*, 1991). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) al 0.05 de nivel de significancia.

Resultados y discusión

Fecha de madurez fisiológica y vida de anaquel

De acuerdo con la época de cosecha, las variedades se clasificaron en tres grupos: las de ciclo temprano, con la época de cosecha durante el mes de julio; las de ciclo intermedio, con la época de cosecha durante los meses de agosto y septiembre y las de ciclo tardío, con la época de cosecha del 15 de octubre al 30 de noviembre (Cuadro 2). El primer grupo se formó con una variedad, el segundo con 16 variedades y el tercero con dos variedades. Del total de las variedades, las de ciclo temprano representan 5%, las de ciclo intermedio 84%, y las de ciclo tardío 11%. La variedad de ciclo temprano (Floreño) tiene frutos de color negro. La mayoría de las variedades de época de cosecha intermedio tienen frutos de color negro y sólo cuatro son de color verde; las variedades de frutos negros son Anita, Pepe, Fosa, Cuervo, Sabroso, Chapeño, Rodríguez, Pila, Especial, Criollo-1 y Criollo-2 y las variedades de frutos verdes son Blanquito, Pera, Verde Pérez y Pecoso. Las variedades de época de cosecha tardío son de frutos color negro (Salazareño y Negro Santos). El contraste de las variedades de acuerdo a la época de cosecha se observa en la Figura 1.

Results and discussion

Physiological maturity date and shelf life

The varieties were classified into three groups according to the harvest season: those with an early cycle, with the harvest season during the month of July; those with an intermediate cycle, with the harvest season during the months of August and September, and those with a late cycle, with the harvest season from October 15 to November 30 (Table 2). The first group comprised a single variety, the second one 16 varieties and the third 2 varieties. Of all the varieties, those with an early cycle represent 5%, with an intermediate cycle 84%, and with a late cycle 11%. The early cycle variety (Floreño) has black colored fruits. Most varieties with an intermediate harvest cycle have black colored fruits, only four are green; the black fruit varieties are Anita, Pepe, Fosa, Cuervo, Sabroso, Chapeño, Rodríguez, Pila, Especial Criollo-1 and Criollo-2; the green fruit varieties are Blanquito, Pera, Verde Pérez and Pecoso. The varieties with a late harvest time have black colored fruits (Salazareño and Negro Santos). The contrast between the varieties grouped according to the harvest season is shown in Figure 1.



Figura 1. Frutos de variedades de aguacate criollo con diferentes fechas de madurez fisiológica. A= variedad Floreño con época de cosecha temprana; B= variedad Pepe con época de cosecha intermedia; y C= variedad Negro Santo con época de cosecha tardía.

Figure 1. Fruits of native avocado varieties with different dates of physiological maturity. A= Floreño variety with early harvest time, B= Pepe variety with intermediate harvest time, and C= Negro Santos variety with late harvest time.

Con relación a la vida de anaquel del fruto, las variedades se pueden clasificar en dos grupos, en uno se ubican las variedades que tienen valores altos que varían de 10.3 a 11 días y en otro aquellas que tienen valores bajos que varían de 4.0 a 6.3 días (Cuadro 2). Entre las variedades con los valores de vida de anaquel más altos están: Criollo-1, testigo local Pepe, Blanquito, Fosa, Cuervo, Pera, Sabroso, Chapeño, Pecoso, Pila y Criollo-2. En general los valores promedio de vida de anaquel obtenidos en el presente trabajo se pueden considerar como aceptables para aguacates criollos, aun cuando no existen reportes en la literatura para su comparación, los valores son menores que los reportados para los aguacates tipo 'Hass' bajo condiciones sin refrigeración (Sánchez, Pérez, 1999b).

Características morfológicas del fruto

Por la forma del fruto los materiales se clasificaron en tres grupos: uno está compuesto por 10 variedades con frutos ovalados, en el cual se ubicó el testigo local Negro Santos y ocho variedades más, Anita, Fosa, Verde Pérez, Rodríguez, Salazareño, Especial, Criollo-1 y Criollo-3. Otro grupo está integrado por ocho variedades con frutos esféricos, Floreño, Blanquito, Pera, Sabroso, Chapeño, Pecoso, Pila y Criollo-2. El otro grupo está formado dos variedades con frutos alargados, el testigo local Pepe y Cuervo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Época de cosecha forma y color del fruto, longitud del pedúnculo y vida de anaquel de 19 variedades criollas de aguacate en la región norte del estado de Nuevo León.

Table 2. Harvest time, shape and color of the fruit, peduncle length and shelf life of 19 native varieties of avocado in the northern region of the state of Nuevo León.

Nombre local	Época de cosecha †	Fruto		Longitud del pedúnculo (cm)	Vida de anaquel (días)
		Forma	Color		
Anita	15-Ago.	Ovalada	Negro	5.0	5.0
Pepe	16-Ago.	Alargada	Negro	6.8	11.0
Floreño	01-Jul.	Esférica	Negro	3.3	5.5
Blanquito	01-Ago.	Esférica	Verde	6.0	11.0
Fosa	15-Ago.	Ovalada	Negro	4.4	11.0
Cuervo	01-Ago.	Alargada	Negro	8.5	11.0
Pera	01-Ago.	Esférica	Verde	3.5	11.0
Verde Pérez	01-Ago.	Ovalada	Verde	4.4	11.0
Sabroso	01-Ago.	Esférica	Negro	6.5	11.0
Chapeño	01-Ago.	Esférica	Negro	4.9	11.0
Rodriguez	01-Sep.	Ovalada	Negro	4.5	4.0
Pecoso	17-Ago.	Esférica	Verde	5.3	11.0
Pila	17-Ago.	Esférica	Negro	6.3	11.0
Salazareño	15-Oct.	Ovalada	Negro	9.0	6.0

†temprana = durante el mes de julio; intermedio = durante los meses de agosto y septiembre; tardía = durante los meses de octubre y noviembre.

With regard to the shelf life of the fruit, the varieties can be classified into two groups; one comprised the varieties that have high values ranging from 10.3 to 11 days, and the other those with low values ranging from 4 to 6.3 days (Table 2). Among the varieties with higher values of shelf life are: Criollo-1, local control Pepe, Blanquito, Fosa, Cuervo, Pera, Sabroso, Chapeño, Pecoso, Pila and Criollo-2. Overall, the average values of shelf life obtained in this work can be seen as acceptable for native avocados, although there are no reports in the literature for comparison; the values are lower than those reported for 'Hass' avocados under non-refrigerated conditions (Sánchez-Pérez, 1999b).

Morphological characteristics of the fruit

The materials were classified by the shape of the fruit into three groups: one composed of 10 varieties with oval fruits, which included the local control Negro Santos and eight other varieties: Anita, Fosa, Verde Pérez, Rodríguez, Salazareño, Especial, Criollo-1 and Criollo-3. Another group consisted of eight varieties with spherical fruits: Floreño, Blanquito, Pera, Sabroso, Chapeño, Pecoso, Pila and Criollo-2. The other group consisted of two varieties with elongated fruits, the local control Pepe and Cuervo (Table 2).

Cuadro 2. Época de cosecha forma y color del fruto, longitud del pedúnculo y vida de anaquel de 19 variedades criollas de aguacate en la región norte del estado de Nuevo León (Continuación).

Table 2. Harvest time, shape and color of the fruit, peduncle length and shelf life of 19 native varieties of avocado in the northern region of the state of Nuevo León (Continuation).

Nombre local	Época de cosecha †	Fruto		Longitud del pedúnculo (cm)	Vida de anaquel (días)
		Forma	Color		
Negro Santos	15-Nov.	Ovalada	Negro	6.2	4.5
Especial	24-Ago.	Ovalada	Negro	6.7	4.8
Criollo-1	25-Ago.	Ovalada	Negro	7.2	13.0
Criollo-2	25-Ago.	Esférica	Negro	3.9	10.3
Criollo-3	01-Sep.	Ovalada	Negro	7.0	6.1
Promedio	-----	-----	-----	5.8	8.5
DMS (0.05)	-----	-----	-----	0.94	0.19

†temprana = durante el mes de julio; intermedio= durante los meses de agosto y septiembre; tardía= durante los meses de octubre y noviembre.

De acuerdo con la longitud del pedúnculo, los materiales se clasificaron en dos grupos, uno integrado por 11 variedades, con valores altos que varían entre 5.3 y 9.0 cm, en el cual sobresalen Salazareño, Cuervo, Pepe, Criollo-1 y Criollo-3. El otro grupo está conformado por las ocho variedades restantes, con valores relativamente bajos que varían entre 3.2 y 5.0 cm, en el cual se ubicaron: Floreño, Pera, Criollo-2 y Fosa, entre otras (Cuadro 2). Los valores promedio de la longitud del pedúnculo en Sabroso, Pila y Especial son muy similares que en los testigos locales, Pepe (6.8 cm) y Negro Santos (6.2).

Se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades para el diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso del fruto, peso del mesocarpio, peso de la semilla y la proporción mesocarpio-fruto. En general las variedades mostraron variación para las características morfológicas del fruto y la proporción mesocarpio-fruto, lo cual permitió formar diferentes grupos (Cuadro 3).

De acuerdo con el diámetro polar y el diámetro ecuatorial del fruto se identificaron cuatro grupos de materiales, uno con valores altos de las dos características, uno con valores altos del diámetro polar y bajos del diámetro ecuatorial, uno con valores bajos del diámetro polar y altos del diámetro ecuatorial y otro con valores bajos de las dos características del fruto (Cuadro 3). El primer grupo está formado por seis variedades, entre las cuales están los dos testigos locales, Verde Pérez, Especial, Criollo-1 y Criollo-3; el segundo grupo está constituido por cinco variedades, Anita, Fosa, Cuervo, Rodríguez y Salazareño; el tercer grupo está integrado por cuatro variedades, Floreño, Blanquito, Sabroso y Chapeño, y el cuarto grupo formado por cuatro variedades, Pera, Pecoso, Pila y Criollo-2.

According to the length of the peduncle, the materials were classified into two groups, one composed of 11 varieties, with high values ranging between 5.3 and 9 cm, among which stand out the varieties Salazareño, Cuervo, Pepe, Criollo-1 and Criollo-3. The other group consisted of the remaining eight varieties, with relatively low values ranging between 3.2 and 5 cm, which included: Floreño, Pera, Criollo-2 and Fosa, among others (Table 2). The average values of peduncle length of Sabroso, Pila and Especial are very similar to those of the local controls, Pepe (6.8 cm) and Negro Santos (6.2).

Highly significant differences were detected ($p \leq 0.01$) between varieties with respect to polar diameter, equatorial diameter, fruit weight, mesocarp weight, seed weight and mesocarp-fruit ratio. In general, the varieties showed variations in the morphological characteristics of the fruit and in the mesocarp-fruit ratio, which allowed to form different groups (Table 3).

According to the polar diameter and the equatorial diameter of the fruit, four material groups were identified, one with high values for the two characteristics, one with high polar diameter values of low equatorial diameter values, one with low polar diameter values and high equatorial diameter values, and one with low values for the two characteristics of fruit (Table 3). The first group consisted of six varieties, including the two local controls, Verde Perez, Especial, Criollo-1 and Criollo-3; the second group consisted of five varieties, Anita, Fosa, Cuervo, Rodriguez and Salazareño; the third group consisted of four varieties, Floreño, Blanquito, Sabroso and Chapeño; and the fourth group consisted of four varieties, Pera, Pecoso, Pila and Criollo-2.

Cuadro 3. Características morfológicas del fruto de 19 variedades criollas de aguacate en la región norte del estado de Nuevo León.

Table 3. Morphological characteristics of the fruit of 19 native varieties of avocado in the northern region of the state of Nuevo León.

Nombre local	Diámetro (cm)		Fruto	Peso (g) Mesocarpio	Semilla	Proporción mesocarpio fruto
	Polar	Ecuatorial				
Anita	10.9	3.5	194.6	156.9	37.7	0.81
Pepe	8.9	6.1	135.1	99.2	35.9	0.73
Floreño	6.7	5.3	95.9	56.7	39.2	0.59
Blanquito	6.0	5.5	88.0	53.0	34.9	0.60
Fosa	7.4	4.9	91.8	66.5	25.3	0.72
Cuervo	8.4	4.7	124.1	90.8	33.3	0.73
Pera	6.6	4.4	108.6	68.6	40.0	0.63
Verde Pérez	7.6	5.1	121.9	83.6	38.3	0.69
Sabroso	6.5	5.5	96.2	60.8	35.3	0.63
Chapeño	5.1	5.6	120.8	80.9	39.8	0.67
Rodriguez	7.7	4.1	81.4	61.1	20.2	0.75
Pecoso	3.8	4.5	63.9	39.8	24.1	0.62
Pila	5.0	3.3	102.7	65.8	36.9	0.64
Salazareño	10.0	3.8	181.5	112.6	68.9	0.62
Negro Santos	7.5	5.9	144.0	98.5	45.5	0.68
Especial	7.5	5.7	148.6	109.9	38.7	0.74
Criollo-1	9.4	5.9	117.0	86.4	30.6	0.74
Criollo-2	6.9	4.8	119.3	87.3	32.0	0.73
Criollo-3	7.9	5.2	127.7	82.1	38.4	0.64
Promedio	7.43	5.03	118.65	82.33	36.02	0.69
DMS (0.05)	0.51	0.23	8.13	7.06	4.33	0.03

Los valores correspondientes a los testigos locales Pepe (8.9 cm de diámetro polar y 6.1 cm de diámetro ecuatorial) y Negro Santos (7.5 cm de diámetro polar y 5.9 cm de diámetro ecuatorial) son representativos del tamaño del fruto (Cuadro 3). Se determinó que cuatro variedades presentaron frutos de tamaño similar que las variedades testigos locales, las cuales están representadas por: Verde Pérez, Especial, Criollo-1 y Criollo-3. Estos materiales se caracterizan porque son de ciclo intermedio y los frutos son ovalados y la epidermis de los frutos es color negro, excepto Verde Pérez, que tiene la epidermis color verde.

Con respecto al peso del fruto y peso del mesocarpio, en general se identificaron cuatro grupos de materiales, uno con valores altos, otro con valores intermedios, uno con valores bajos y otro con valores muy bajos (Cuadro 3). En el primer grupo se ubicaron cinco variedades, de las cuales una tiene frutos de color verde (Anita) y cuatro de color negro (testigos locales, Salazareño y Especial). El segundo grupo está formado por ocho variedades, de las cuales la mayoría tienen frutos de color negro (Cuervo, Chapeño, Pila, Criollo-1, Criollo-2 y Criollo-3) y dos variedades de color verde (Pera y Verde Pérez). El tercer grupo está integrado

The values of the local controls Pepe (8.9 cm in polar diameter and 6.1 cm in equatorial diameter) and Negro Santos (7.5 cm in polar diameter and 5.9 cm in equatorial diameter) are representative of the size of the fruit (Table 3). It was determined that four varieties had fruits of similar size to the local control varieties; these were: Verde Pérez, Especial, Criollo-1 and Criollo-3. These materials are characterized by their intermediate harvest cycle, the oval-shaped fruits and the black color of their epidermis, except Verde Perez, which has a green epidermis.

With respect to the weight of the fruit and the mesocarp weight, four groups of materials were generally identified, one with high values, another with intermediate values, one with low values and another with very low values (Table 3). The first group comprised five varieties, of which one has green fruits (Anita) and the other four have black fruits (local controls, Salazareño and Especial). The second group comprised eight varieties, most of them with black colored fruits (Cuervo, Chapeño, Pila, Criollo-1, Criollo-2 and Criollo-3), and two varieties with green fruits (Pera and Verde Pérez). The third group consisted of five varieties, of which four have black colored fruits (Floreño, Fosa, Sabroso

por cinco variedades, de las cuales cuatro tienen frutos de color negro (Floreño, Fosa, Sabroso y Rodríguez) y una de color verde (Blanquito). En el cuarto grupo sólo se ubicó una variedad (Pecoso), la cual tiene frutos de color negro.

De acuerdo con el peso de la semilla, se identificaron cuatro grupos de materiales, uno con valores muy altos, uno con valores altos, uno con valores intermedios, uno con valores bajos y otro con valores muy bajos (Cuadro 3). En el primer grupo sólo se ubicó la variedad Salazareño, con un valor promedio de 68.9 g. En el segundo grupo se ubicaron ocho variedades, con valores promedio entre 37.7 y 45.5 g (Anita, Floreño, Pera, Verde Pérez, Chapeño, Negro Santos, Especial y Criollo-3). El tercer grupo está integrado por seis variedades, con valores promedio entre 32 y 36.9 g (Pepe, Blanquito, Cuervo, Sabroso, Pila y Criollo-2). El cuarto grupo está compuesto por cuatro variedades, con valores promedio entre 20.2 y 30.6 g (Fosa, Rodríguez, Pecoso y Criollo-1).

Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) entre variedades para la proporción de peso del mesocarpio sobre peso del fruto (datos no presentados). En general, el peso del mesocarpio fue menor que el peso del fruto en las 19 variedades de aguacate evaluadas, consecuentemente, la proporción mesocarpio/fruto fue menor que la unidad. Los valores más altos de la proporción mesocarpio-fruto fueron para las variedades Anita, testigo local Pepe, Fosa, Cuervo, Rodríguez, Especial, Criollo-1 y Criollo-2; mientras que los valores más bajos fueron para las variedades Floreño, Blanquito, Pera, Verde Pérez, Sabroso, Chapeño, Pecoso, Pila, Salazareño, la variedad testigo local Negro Santos y Criollo-3 (Cuadro 3).

Los resultados anteriores sugieren que las variedades criollas utilizadas en el presente estudio también se pueden clasificar de acuerdo con los valores cuantitativos de las características morfológicas del fruto (Acosta-Díaz *et al.*, 2012). Las variedades con los valores más altos de la proporción mesocarpio-fruto, representan una alternativa a las variedades testigos locales (Pepe y Negro Santos) para su establecimiento en futuras huertas comerciales, ya que esto permitiría contar con variedades de diferentes épocas de cosecha (temprano, intermedio y tardío), con frutos de diferente color de epidermis (negro y verde) y de diferente forma (ovalada, esférica y alargada), con adaptación a las condiciones agroclimáticas de la región norte del estado de Nuevo León, bajo un sistema de producción tradicional de bajos uso de insumos por parte de los productores de dicha región.

and Rodríguez) and one has green fruits (Blanquito). The fourth group was comprised by only one variety (Pecoso), which has black colored fruits.

According to the weight of the seed, four groups of materials were identified, one with very high values, one with high values, one with intermediate values, one with low values and another with very low values (Table 3). The first group included only the Salazareño variety, with an average value of 68.9 g. The second group included eight varieties, with average values between 37.7 and 45.5 g (Anita, Floreño, Pera, Verde Pérez, Chapeño, Negro Santos, Especial and Criollo-3). The third group consisted of six varieties, with average values between 32 and 36.9 g (Pepe, Blanquito, Cuervo, Sabroso, Pila and Criollo-2). The fourth group consisted of four varieties, with average values between 20.2 and 30.6 g (Fosa, Rodríguez, Pecoso and Criollo-1).

There were highly significant differences ($p \leq 0.001$) between the varieties with respect to the ratio between the weight of the mesocarp and the weight of the fruit (data not shown). In general, the weight of the mesocarp was lower than the weight of the fruit in the 19 avocado varieties tested; consequently, the mesocarp/fruit ratio was less than the unit. The highest values of the mesocarp-fruit ratio were found in the following varieties: Anita, local control Pepe, Fosa, Cuervo, Rodríguez, Especial, Criollo-1 and Criollo-2, while the lowest values were found in the varieties Floreño, Blanquito, Pera, Verde Pérez, Sabroso, Chapeño, Pecoso, Pila, Salazareño, the local control variety Negro Santos and Criollo-3 (Table 3).

The above results suggest that the landraces used in this study could also be classified according to the quantitative values of the morphological characteristics of the fruit (Acosta-Díaz *et al.*, 2012). The varieties with the highest values of the mesocarp-fruit ratio represent an alternative to the local control varieties (Pepe and Negro Santos) which could be established in commercial orchards in the future, as this would provide varieties of different harvest times (early, intermediate and late), with fruit epidermis of different colors (black and green) and different shape (oval, spherical and elongated), adapted to the growing conditions of the northern region of the state of Nuevo León, under the traditional low input production system used by the producers of that region.

In general, the results obtained in this study indicate that, based on the morphological characteristics of the fruit, there is significant variation among avocado landraces

En general los resultados obtenidos en el presente estudio indican que existe una importante variación entre los materiales criollos de aguacate en la región norte del estado de Nuevo León, con base en las características morfológica del fruto y coincide con lo reportado por Gutiérrez Díez *et al.* (2009) y Acosta-Díaz *et al.* (2012). Además, de contar con un buen número de variedades de época de cosecha intermedia, con frutos de epidermis color negro y tamaño comercial como las variedades testigos locales Pepe y Negro Santos, existen cinco variedades de época de cosecha intermedia, con frutos de epidermis color negro y verde y de tamaño comercial similar a las dos variedades testigos locales (Cuervo, Especial, Criollo-1, Criollo-2 y Verde Pérez), una variedad de época de cosecha temprana (Floreño) y otra variedad de época de cosecha tardía (Salazareño).

La diferenciación de materiales de aguacate con base en las características morfológica del fruto presenta varias limitaciones, ya que el fruto es una característica que no ayuda a diferenciar entre formas silvestres y cultivadas de plantas, debido a que los árboles producen frutos de diferentes tamaños (Gama-Campillo y Gómez-Pompa, 1992; Rodríguez *et al.*, 2003; Acosta-Díaz *et al.*, 2012). Sin embargo, en este trabajo si se pudieron definir tres grupos de materiales con base en la época de cosecha de los frutos, coincidiendo con lo reportado por Almeyda León y Acosta Díaz (2007), quienes no pudieron diferenciar mediante la técnica de RAPD's todos los materiales colectados en los municipios de Aramberri y Rayones, Nuevo León, pero si observaron su tendencia de agruparse por localidad y de acuerdo al tipo de fruto.

Conclusiones

De las 19 variedades criollas de aguacate evaluadas en el estudio, siete presentaron características morfológicas de fruto sobresalientes y se integraron en tres grupos contrastantes de acuerdo a su período de madurez fisiológica. Lo anterior representa una alternativa para los productores de la región norte del estado de Nuevo León, México, ya que estos materiales cumplen las expectativas de manejo y de los requerimientos del mercado regional, lo cual puede contribuir a diversificar la producción de aguacate criollo en dicha región, mediante una planeación ordenada de los huertos con base en la época de cosecha y así evitar la dependencia exclusiva de la producción con las variedades Pepe y Negro Santos.

in the northern region of the state of Nuevo León, which coincides with what was reported by Gutiérrez Díez *et al.* (2009) and Acosta-Díaz *et al.* (2012). In addition to having an ample number of varieties with an intermediate harvest time, black colored fruits and a commercial size similar to that of the local control varieties Pepe and Negro Santos, there are five varieties with an intermediate harvest time, black and green colored fruits and a commercial size similar to the two local control varieties (Cuervo Especial, Criollo-1, Criollo-2 and Verde Pérez), a variety with an early harvest time (Floreño) and a variety with a late harvest time (Salazareño).

The differentiation of avocado materials based on morphological characteristics of the fruit has several limitations, as it is very difficult to differentiate between wild and cultivated forms of plants based on their fruit because the trees produce fruits of different sizes (Gutiérrez Gama-Campillo and Gómez-Pompa, 1992; Rodríguez *et al.*, 2003; Díez *et al.*, 2009; Acosta-Díaz *et al.*, 2012). However, in this work we were able to define three groups based on the time of fruit harvest, coinciding with reports by Almeyda León and Acosta- Díaz (2007), who were unable to differentiate avocado materials collected in the municipalities of Aramberri and Rayones, Nuevo Leon, using the RAPD technique, but did observe their tendency to group by location and type of fruit.

Conclusions

Of the 19 native varieties of avocado evaluated in the study, seven had outstanding fruit morphological characteristics and were integrated into three contrasting groups according to their physiological maturity period. These varieties are an alternative for farmers in the northern region of the state of Nuevo León, Mexico, as they meet management expectations as well as the requirements of the regional market, which can help diversify the production of native avocado in this region through an orderly planning of orchards based on harvest time and thus to prevent production from depending exclusively on the Pepe and Negro Santos varieties.

End of the English version



Literatura citada

- Acosta, D. E.; Hernández, T. I. y Almeyda, L. I. H. 2009. Variación morfológica de frutos de aguacate criollo en el sur de Nuevo León, México. Cueto, W. J. A.; Prieto, R. J. A. y Macías, G. L V. (Comp.). IV Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Saltillo, Coahuila. México. 76 p.
- Acosta-Díaz, E.; Hernández-Torres, I. y Almeyda-León I.H. 2012. Evaluación de aguacates nativos (*Persea americana* var. *Drymifolia*) en Nuevo León, México: Región sur. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 245-247.
- Almeyda-León, I. H y Acosta- Díaz, E. 2007. Caracterización molecular de aguacate criollo de Nuevo León. Memorias del XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Zacatecas, Zacatecas, México.
- Barrientos, P. A. F. y López, L. L. 2002. Historia y genética del aguacate. Memoria 2002 de la Fundación Salvador Sánchez Colín. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas, México. 100-121 pp.
- Bergh, B. O. 1995. Avocado. In: Smartt, J. and Simmonds, N. W. (Eds.). Evolution of crop plants. Longman Scientific and Technical. 240-245 pp.
- Bergh, B. O. and Lahav, E. 1996. Avocados. In: Janick, J. and Moore, J. N. (Eds.). Fruit breeding. Tree and tropical fruits. John Wiley and Sons. 113-166 pp.
- Food and Agricultural Organization (FAO). 1989. Carte mondiale des sols. Légende Révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde 60. FAO-UNESCO. Rome, Italie.
- Fiedler, J.; Bufler, G. and Bangerth, F. 1998. Genetic relationships of avocado (*Persea americana* Mill.) using RAPD markers. Euphytica 101:249-255.
- Freed, R.; Eisensmith, S. P.; Goetz, S.; Reicosky, U. D.; Small, W. and Wolberg, P. 1991. User's guide to MSTAC. Michigan State University, East Lansing, Michigan.
- Gama-Campillo, L. and Gómez-Pompa, A. 1992. An ethnoecological approach for the study of *Persea*: a case study in the maya area. In: Proc. of II WorldAvocado Congress. Opening Session Conference. California, USA 1991. 1:11-17.
- Gutiérrez, D. A.; Martínez, de la C. J.; García, Z. E. A.; Iracheta, D. L.; Ocampo, M. J. D. y Cerda, H. I. M. 2009. Estudio de la diversidad genética del aguacate en Nuevo León, México. Rev. Fitotec. Mex. 32(1):9-18.
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). 1995. Descriptors for avocado (*Persea* spp.). International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 52 p.
- Kritchevsky, D.; Tepper, S. A.; Wright, S.; Czarnecki, S. K.; Wilson, T. A. and Nicolosi, R. J. 2003. Cholesterol vehicle in experimental atherosclerosis 24: avocado oil. J. Amer. Collage of Nutrition. 22(1):52-55.
- Medina, G. G.; Ruiz, C. J. A. y Martínez, P. R. A. 1998. Los climas de México. Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Ganadería y Agricultura. Guadalajara, Jalisco, México. Libro técnico Núm. 1. 22 p.
- Mijares, O. P. y López, L. L. 1998. Variedades de aguacate y su producción en México. Departamento de Fitotecnia. Memoria 1998 de la Fundación Salvador Sánchez Colín. Centro de Investigaciones y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas. México. 88-99 pp.
- Newett, S. D. E.; Crandy, J. H. and Balerdi, C. F. 2002. Cultivars and rootstocks. In: Whiley, A. W.; Schaffer, B. and Wolstenholme, B. N. (Eds.). Avocado: botany, production and uses. CAB Publishing. 161-187pp.
- Ortiz, M.; Dorantes, A. L.; Galldnez, M. J. and Cárdenas, E. 2004. Effect of a novel oil extraction method on avocado (*Persea americana* Mill.) pulp microstructure. Plant Foods for Human Nutrition 59:11-14.
- Rodríguez, S. F. 1992. El aguacate. A. G. T. Editor S. A. México, D. F. SAGAR-INIFAP. 1996. Programa Nacional de Investigación de Aguacate. Grupo Interdisciplinario de Aguacate (GIA). En el Campo Experimental de Uruapan. Michoacán, México. Documento interno. 127 p.
- Rodríguez, N. N.; Rhode, C. W.; González-Arencibia, I. M.; Ramírez-Pérez, J. L.; Fuentes-Lorenzo, M. Román-Gutiérrez, A.; Xiques-Martín, F.; Becker, D. y Velásquez-Palenzuela, J. V. 2003. Caracterización morfológica, bioquímica y molecular de cultivares de aguacatero (*Persea americana* Mill.) en Cuba. In: Proc. V World Avocado Congress. Research Conference. Granada-Málaga, Spain. 19-24 october. 1:47-53.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2007. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeagr.html.
- Sánchez Pérez, J. de la L. 1999a. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. Rev. Chapingo S. Hort. 5:7-18.
- Sánchez, P. J. de la L. 1999b. Manejo postcosecha del aguacate. Boletín de la Asociación Agrícola Local de Productores de Aguacate de Uruapan, Michoacán. México. 4 p.
- Sánchez, P. J. de la L. 2007. Identificación de marcadores asociados a la resistencia de aguacate raza mexicana (*Persea americana* Mill. var *drymifolia*) al oomiceto *Phytophtota cinnamomi* Rands. Tesis de Doctorado. UMSNH. Morelia, Michoacán, México. 106 p.
- Williams, L. O. 1977. The avocados, a synopsis of the genus *Persea* subg. *Persea*. Econ. Bot. 31:315-320.

Respuesta del chile mirasol a la labranza reducida, enmiendas al suelo y acolchado plástico*

Response of Mirasol chili pepper to reduced tillage, soil amendments and plastic mulch

Mario Domingo Amador-Ramírez^{1§}, Rodolfo Velásquez-Valle¹, Blanca Isabel Sánchez-Toledano¹ y Efraín Acosta-Díaz²

¹Campo Experimental Zacatecas, INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km 24.5. Calera de Víctor Rosales, Zacatecas. C. P. 98500. C. P. 18. (fitovalle58@yahoo.com.mx); (bsanchez@zacatecas.inifap.gob.mx). ²Campo Experimental General Terán-INIFAP. Carretera Montemorelos-China, km 31. General Terán, Nuevo León. C. P. 67400. (acostaebrain@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: castor_aztlan@hotmail.com.

Resumen

El interés por la sostenibilidad de algunos sistemas de chile seco (*Capsicum annuum* L.) proviene de la producción intensiva a la que es sometida este cultivo, lo cual es causada por el uso excesivo de actividades agrícolas. El objetivo de este estudio fue: 1) evaluar los efectos de la labranza reducida, incorporación de abono verde, incorporación de abono seco y la asociación riego por goteo + acolchado plástico en el crecimiento y rendimiento de chile seco, al comparar estos efectos con aquellos del sistema de producción convencional; y 2) estimar la economía de los sistemas de manejo arriba mencionados. Las plantas de chile pararon su crecimiento en términos de altura alrededor de las 960 y 989 UC, mientras que en términos de diámetro de tallo, las plantas de chile dejaron de crecer entre las 972 y 980 UC. El rendimiento de chile de primera calidad con LR fue constante entre años. La respuesta del rendimiento a los otros sistemas de manejo, diferentes al LR, fue inconsistente entre años, debido a la susceptibilidad del cultivo a factores externos, tales como enfermedades y factores ambientales. La relación beneficio/costo a través de años mostrado por el sistema LR fue constante, en comparación a ACOL e IAS que mostraron pérdidas y ganancias.

Palabras clave: análisis económico, crecimiento vegetativo, regresión no lineal, unidades calor.

* Recibido: mayo de 2012
Aceptado: febrero de 2013

Abstract

The interest in the sustainability of some systems of dried chili pepper (*Capsicum annuum* L.) comes from the intensive production to which this crop is subjected to, caused by the excessive use of agricultural activities. The aim of this study was to: 1) evaluate the effects of reduced tillage, green manure incorporation, incorporation of dry manure and the association drip irrigation + plastic mulch, on the growth and yield of dried chili peppers, comparing these effects with those of the conventional production system; and 2) estimate the economic benefits of the management systems mentioned above. The chili pepper plants stopped their growth in terms of height around 960 and 989 HU, while in terms of stem diameter the chili pepper plants stopped growing between 972 and 980 HU. The yield of premium chili peppers with LR was constant between years. The yield response to management systems different to the LR was inconsistent between years due to the susceptibility of the crop to external factors such as environmental factors and diseases. The benefit/cost relationship through the years shown by the LR system was constant, compared to ACOL and IAS, which showed losses and gains.

Key words: economic analysis, heat units, nonlinear regression, vegetative growth.

Introducción

El chile (*Capsicum annuum* L.) es un importante cultivo hortícola en México al cosechar arriba de 108 500 hectáreas en el 2010 (SIAP, 2010), colocándolo mundialmente en el onceavo lugar por sus 50 988 toneladas métricas de producción (FAOSTAT, 2009). El cultivo de chile es plantado bajo diferentes condiciones de manejo como el riego por goteo (Bravo *et al.*, 2002), acolchado plástico (Burciaga *et al.*, 2004) o con reducción en la cantidad de agua de riego (Serna-Pérez *et al.*, 2008), aunque mucha de la superficie de chile es aún manejada convencionalmente (Galindo *et al.*, 2002), con los consiguientes problemas de baja eficiencia por los suministros de altos volúmenes de agua (Mojarro, 2004) y por la aplicación desde tres hasta siete escardas a través de la temporada de crecimiento (Amador, 1991).

La explotación intensiva del cultivo de chile reduce la sostenibilidad del sistema debido a una constante degradación del recurso suelo y un uso ineficiente del agua de riego. La interacción, altos costos de producción y producción intensiva del sistema de producción de chile en Zacatecas, requiere del uso de un sistema de producción competitivo y a la vez sustentable. Para estos casos, la labranza de conservación es un sistema de manejo que ofrece sostenibilidad al cultivo de chile al reducir la frecuencia de operaciones de labranza y usar implementos de labranza no-invertidores (Lyon *et al.*, 2004), en donde los rendimientos de cultivos son similares o ligeramente mejores que con labranza convencional (Land and Water Conservation, 1978).

En México, las superficies plantadas con chile son usualmente manejadas con labranza convencional y por pequeños productores en alta proporción en diferentes ambientes. Desafortunadamente, existe una limitada documentación sobre el efecto de los sistemas de producción en chile dentro de años y a través del tiempo en un ambiente semiárido. Tal información ayudaría a incrementar la productividad del cultivo al reducir los costos de producción. Los objetivos de este estudio son: 1) evaluar los efectos de la labranza reducida, incorporación de abono verde, incorporación de rastrojo de maíz y el riego por goteo+acolchado plástico en el crecimiento y rendimiento de chile seco, al comparar estos efectos con los efectos del sistema convencional de producción; y 2) estimar el beneficio económico de los sistemas de manejo arriba mencionados.

Introduction

Chili pepper (*Capsicum annuum* L.) is an important vegetable crop in Mexico, cultivated in over 108 500 hectares in 2010 (SIAP, 2010), placing it at the eleventh place globally with a production of 50 988 metric tons (FAOSTAT, 2009). Chili peppers are planted under various management conditions such as drip irrigation (Bravo *et al.*, 2002), plastic mulch (Burciaga *et al.*, 2004) or with reduction in the amount of irrigation water (Serna-Pérez *et al.*, 2008), although much of the chili pepper surface is still managed conventionally (Galindo *et al.*, 2002), with the attendant problems of low efficiency in terms of the high-volume of water used (Mojarro, 2004) and the performance of three to seven weedings through the growing season (Amador, 1991).

The intensive exploitation of the chili pepper crop reduces the sustainability of the system due to the constant degradation of the soil resource and the inefficient use of irrigation water. The interaction between high production costs and intensive production of the chili pepper production system in Zacatecas requires the use of a competitive yet sustainable production system. For these cases, conservation tillage is a management system that offers sustainability to chili pepper cultivation by reducing the frequency of tillage operations and the use of no-till implements (Lyon *et al.*, 2004); the crop yields are similar or slightly better than with conventional tillage (Land and Water Conservation, 1978).

In Mexico, the surfaces planted with chili pepper are usually managed with conventional tillage, mostly by small producers in different environments. Unfortunately, there is limited documentation about the effect of production systems in chili pepper within single years and over time in a semi-arid environment. Such information would help to increase crop productivity by reducing production costs. The objectives of this study are: 1) to evaluate the effects of reduced tillage, green manure incorporation, incorporation of corn stover and drip irrigation + plastic mulch on the growth and yield of dried chili peppers by comparing these effects with the effects of the conventional production system; and 2) to estimate the economic benefit of the management systems mentioned above.

Materiales y métodos

Sitio experimental y Descripción de tratamientos

Observaciones de campo se llevaron a cabo durante 2007 a 2010 en plantaciones de chile en el Campo Experimental Zacatecas cerca de Calera de Víctor Rosales, en la región central del estado de Zacatecas ($22^{\circ} 54'$ latitud norte, $102^{\circ} 39'$ longitud oeste, 2 197 msnm). Se utilizaron plántulas de chile de 52 y 53 días de emergidas de la variedad Mirasol Zacatecas, las cuales fueron trasplantadas a mano en abril 19, 18, 8 y 10 en 2007, 2008, 2009 y 2010, respectivamente.

Los tratamientos fueron establecidos con base en cinco tecnologías de producción denominadas labranza reducida (LR), riego por goteo+acolchado plástico negro (ACOL), incorporación de rastrojo de maíz (IAS), incorporación de abono verde (IAV), y labranza convencional (LC). El sistema LR estuvo constituido únicamente por labranza secundaria (cultivador giratorio de púas y escardas). El sistema IAS incluyó labranza primaria (barbecho, rastreo, nivelación y surcido), incorporación de rastrojo de maíz a una dosis de 260 g m^{-2} , labranza secundaria (cultivador giratorio de púas y escardas) y riego por gravedad. En el 2008 se implementó el sistema IAV, el cual consistió en la aplicación de las mismas actividades que el sistema IAS, solo que la incorporación fue de avena.

Este sistema consistió en sembrar avena en una dosis de 100 kg ha^{-1} y luego cortar e incorporar al suelo la avena en una dosis de 510 g m^{-2} de materia seca. El sistema ACOL incluyó la labranza primaria (barbecho, rastreo, nivelación y construcción de camas), cobertura del suelo con película plástica color negro, trasplante de plántulas de chile en doble hilera en camas de 1.52 m de ancho, riego por goteo y escardas entre camas. Estas cuatro tecnologías de producción de chile fueron comparados contra el sistema LC, la cual estuvo conformado por la labranza primaria (barbecho, rastreo, nivelación y surcido), labranza secundaria (picas manuales, escardas y deshierbes manuales), y riego por gravedad (tubería de multi compuerta).

En las parcelas con LR, IAS, IAV y LC, los fertilizantes fueron aplicados en banda e incorporados mecánicamente en dosis de 220 kg ha^{-1} de nitrógeno, 100 kg ha^{-1} de fósforo, y 150 kg ha^{-1} de potasio. Las cantidades totales de fosforo y potasio más un tercio de la dosis de nitrógeno fueron

Materials and methods

Experimental site and description of treatments

Field observations were carried out during 2007-2010 in chili pepper plantations in the Experimental Field Zacatecas near Calera de Victor Rosales, in the central region of the state of Zacatecas ($22^{\circ} 54' \text{ N}$, $102^{\circ} 39' \text{ W}$, 2197 masl). Mirasol Zacatecas chili pepper seedlings of 52 and 53 days after emergence were used; they were transplanted by hand on April 19, 18, 8 and 10 in 2007, 2008, 2009 and 2010, respectively.

The treatments were established based on five production technologies called reduced tillage (LR), drip irrigation + black plastic mulch (ACOL), corn stover incorporation (IAS), green manure incorporation (IAV), and conventional tillage (LC). The LR system consisted only of secondary tillage (rotary cultivator with tines and spuds). The IAS system included primary tillage (plowing, ploughing, leveling and furrowing), incorporation of corn stover at a dose of 260 g m^{-2} , secondary tillage (rotary cultivator with tines and spuds) and gravity irrigation. The IAV system was implemented in 2008, which consisted in the performance of the same activities as the IAS system, but incorporating oat instead of corn stove.

This system consisted in sowing oats at a dose of 100 kg ha^{-1} and then cutting and incorporating the oats to the soil at a dose of 510 gm^{-2} of dry matter. The ACOL system included primary tillage (plowing, ploughing, leveling and construction of beds), ground cover with black colored plastic films, the transplanting of chili seedlings in a double row to beds of 1.52 m wide, drip irrigation and weeding between beds. These four chili production technologies were compared against the LC system, which consisted of primary tillage (plowing, ploughing, leveling and furrowing), secondary tillage (manual spades, hoeing and hand weeding) and gravity irrigation (multi-gate pipes).

In the plots with LR, IAS, IAV and LC, the fertilizers were applied in band and incorporated mechanically in doses of 220 kg ha^{-1} of nitrogen, 100 kg ha^{-1} of phosphorus, and 150 kg ha^{-1} of potassium. The total amounts of phosphorus and potassium, plus a third of the dose of nitrogen, were applied 15 days after transplantation, while the remaining amount of nitrogen was divided in two and each fraction was applied 30

aplicados a los 15 días después del trasplante, mientras que la restante cantidad de nitrógeno fue dividida en dos y cada fracción fue aplicada a los 30 y 70 días después del trasplante. La misma dosis de fertilización fue aplicada a través de la cintilla en las parcelas con riego por goteo en el sistema ACOL.

Tamaño de la parcela y medición de variables

El chile tipo mirasol en una densidad de 65 000 plantas por hectárea fue trasplantado en surcos espaciados a 0.76 m de 70 m de largo, mientras que el trasplante de plántulas en el sistema ACOL se realizó en camas elevadas de la misma longitud de 1.52 m de ancho. En el sistema LC, la parcela fue de 44 surcos, mientras que en los sistemas IAS y IAV, las parcelas fueron de 22 surcos de 70 m de largo. La parcela con el sistema LR estuvo constituida por 48 surcos de 50 m de largo. En la planta de chile, las variables medidas quincenalmente a través del ciclo de cultivo en los cinco sistemas de producción fueron altura de planta, diámetro de tallo y materia seca. La altura de planta expresada en centímetros desde al ras del suelo y el diámetro de tallo determinado con un vernier digital fueron medidos en 10 plantas escogidas al azar. La materia seca total expresada en gramos por planta fue estimada desde una muestra de cuatro plantas, previamente secadas en estufa a 70 °C por 24 h.

El rendimiento fue estimado a partir de 5 muestras de 8 m de largo por muestra de cada surco terciado iniciando del primer surco. Los frutos de cada muestra fueron seleccionados por inspección visual y luego contados según las calidades en primera, segunda y rezaga. Frutos mostrando un color rojo limpio sin manchas fue clasificado como fruto de primera, mientras que los frutos con un rojo pálido, o con partes rotas y/o textura rugosa fueron clasificados como de calidad segunda. Los frutos descoloridos con manchas blancas fueron clasificados como frutos de tercera calidad o rezaga. Los rendimientos de cultivo en una base por parcela fueron transformados a kg ha⁻¹.

Análisis estadístico

Para el análisis de crecimiento de la planta de chile, las variables fueron relacionadas a unidades calor, mediante el empleo de una temperatura base de 10 °C. El tiempo termal (usado para normalizar los resultados de diferentes experimentos) fue calculado mediante la

and 70 days after transplantation. The same dose of fertilizer was applied through drip irrigation in the plots managed with the ACOL system.

Plot size and measurement of variables

The mirasol chili was transplanted into 70 m long furrows spaced at 0.76 m with a density of 6 500 plants per hectare, while in the ACOL system the seedlings were transplanted into elevated beds of the same length and 1.52 m wide. In the LC system, the plot had 44 furrows, while in the IAS and IAV systems the plots had 22 furrows of 70 m in length. The plot with the LR system consisted of 48 furrows of 50 m in length. The variables measured biweekly in the chili plant throughout the agricultural cycle in the five production systems were plant height, stem diameter and dry matter. Plant height, expressed in centimeters from the ground level, and stem diameter, measured with a digital Vernier, were measured in 10 randomly selected plants. Total dry matter, expressed in grams per plant, was estimated from a sample of four plants previously dried in an oven at 70 °C for 24 h.

The yield was estimated from 5 samples of 8 m in length per sample from each alternating furrow, starting from the first one. The fruits of each sample were selected by visual inspection and then classified according to quality into first class, second class and laggards. The fruits that showed a clean spotless red color were classified as first class fruits, while the fruits of pale red color or with broken parts and/or rough texture were classified as second quality. The discolored fruits with white spots were classified as third quality fruits or laggards. Crop yields, on a per plot basis, were converted to kg ha⁻¹.

Statistical analysis

For the growth analysis of the chili plants, the variables were related to heat units by using a base temperature of 10 °C. The thermal time (used to normalize the results from different experiments) was calculated by subtracting 10 from the average daily temperature. If the daily minimum temperature was lower than 10 °C, then the minimum temperature was 10 °C. Daily heat units were accumulated from the time of planting and reported as HU.

The relationships between stem diameter and heat units and between plant height and heat units were examined by nonlinear regression using PROC NLIN, resulting

sustracción de 10 a la temperatura media diaria. Si la temperatura mínima diaria fue menor a 10 °C, entonces la temperatura mínima fue 10 °C. Las unidades calor diarias fueron acumuladas desde el tiempo de plantación y reportadas como UC.

Las relaciones entre diámetro de tallo-unidades calor y altura de planta-unidades calor fueron examinadas mediante regresión no lineal usando PROC NLIN, resultando en una forma de plataforma lineal (SAS, 1999). El modelo de crecimiento de Gompertz explicó la relación entre la materia seca y las unidades calor. El coeficiente de determinación (R^2) fue calculado de acuerdo a la descripción de Vandepitte *et al.* (1995). Los valores medios de los tratamientos tecnológicos fueron comparados a través de su desviación estándar, mediante lo cual se probó la significancia de rendimientos. El retorno neto fue calculado mediante la sustracción de los costos estimados de producción al ingreso bruto estimado de cada sistema de manejo (Johnson *et al.*, 1997; Reddy y Whiting, 2000). El ingreso bruto fue estimado como los rendimientos a la cosecha de las tres calidades multiplicado por sus precios de venta. El análisis económico de los sistemas de manejo de chile seco fue hecho basado en la relación beneficio/costo, el cual es el resultado después de dividir el ingreso bruto por su correspondiente costo de producción.

Resultados y discusión

La altura de planta a través de los sistemas de manejo fue diferente entre años, aunque la respuesta dentro de años a los diferentes sistemas de manejo fue similar (Figura 1). En 2007, las plantas de chile de todos los sistemas de manejo presentaron una misma altura a las 989 UC, después de lo cual las plantas producidas con el tratamiento LC fueron más altas que aquellas producidas con LR. No hubo datos de altura de plantas de chile producidas en ACOL y IAS después de la acumulación de 989 UC, debido a la mortalidad causada por el hongo *Phytophthora capsici* en la población de plantas de chile. Plantas de chile manejadas con el sistema ACOL tendieron a ser más altas que las producidas con los otros sistemas de manejo desde 2008 a 2010, mientras que las parcelas producidas bajo el sistema IAV mostraron la más baja altura de planta al final de las temporadas de producción en 2008 y 2009.

in a linear platform (SAS, 1999). The Gompertz growth model explained the relationship between dry matter and heat units. The coefficient of determination (R^2) was calculated according to the description of Vandepitte *et al.* 1995. The average values of the technological treatments were compared by their standard deviation, whereby the significance of the yields was tested. The net return was calculated by subtracting the estimated production costs from the estimated gross income of each management system (Johnson *et al.*, 1997; Reddy and Whiting, 2000). Gross income was estimated as the crop yield of the three qualities multiplied by their selling prices. The economic analysis of the management systems of dried chili was made based on the relationship benefit/cost, which results from dividing gross income by its corresponding production cost.

Results and discussion

Among the management systems, plant height was different between years, although the response within the same year to different management systems was similar (Figure 1). In 2007, chili pepper plants under all management systems had the same height at 989 HU, after which the plants produced with the LC treatment were higher than those produced with LR. There were no plant height data for the plants produced with the ACOL and IAS systems after the accumulation of 989 HU due to the mortality caused by the fungus *Phytophthora capsici* in the chili plant population. The chili pepper plants managed with the ACOL system tended to be higher than those produced with other management systems from 2008 to 2010, while the plots cultivated under the IAV system showed the lowest plant heights at the end of the production seasons in 2008 and 2009.

In 2008, the chili plants from plots managed with the ACOL system tended to be higher after the accumulation of 680 HU, while in 2009 the plants managed with the ACOL system were higher from the beginning to 718 HU, after which crop height was similar across all management systems. On average, the height of chili pepper plants was about 10, 11 and 5 cm higher in 2007 than in 2008, 2009 and 2010, respectively; the plants stopped their growth in height between 960 and 989 HU, showing a direct relationship between height and accumulation of HU.

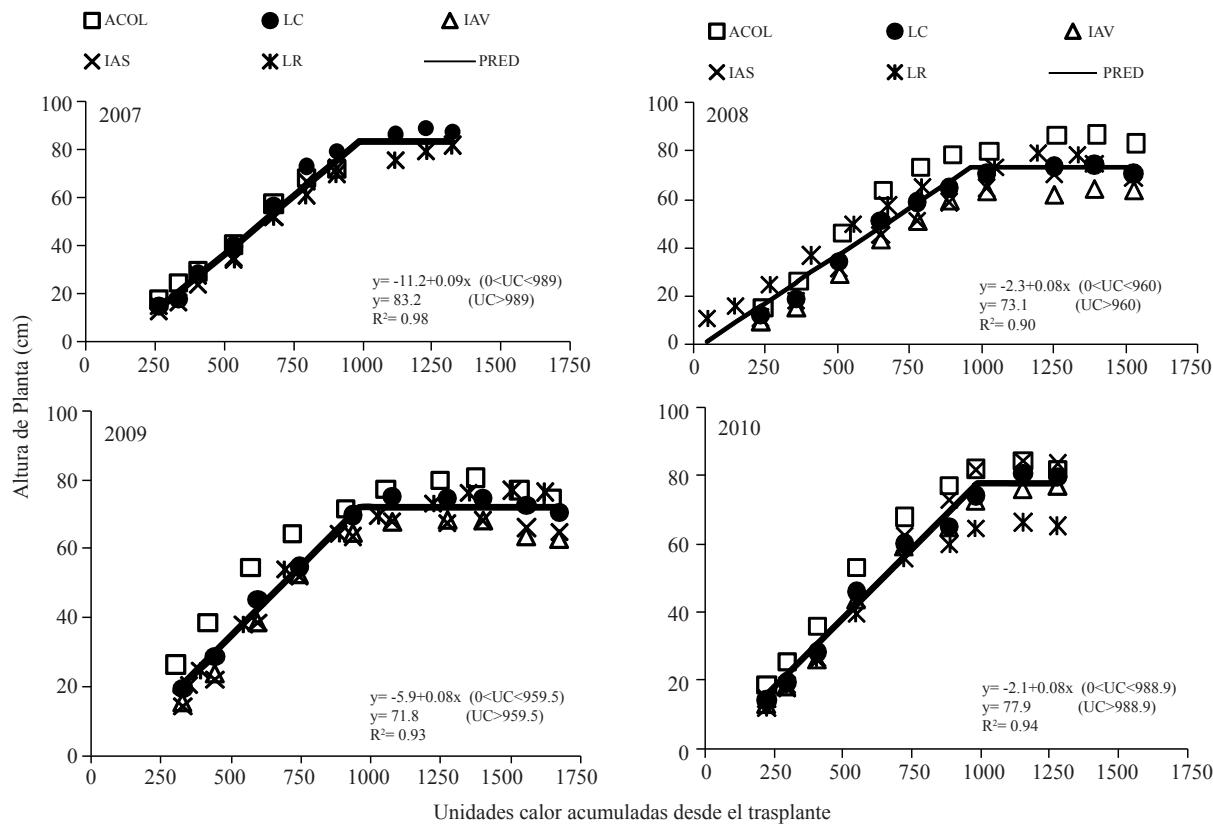


Figura 1. Altura de planta de chile mirasol como una función de las unidades calor estimadas a través de la temporada de crecimiento. Temperaturas umbrales 30/10 °C. ACOL= riego por goteo+acolchado plástico, LC= labranza convencional, IAV= incorporación de abono verde, IAS= incorporación de abono seco, LR= labranza reducida.

Figure 1. Plant height of mirasol chili pepper as a function of the heat units estimated throughout the growing season. Threshold temperatures 30/10 °C. ACOL: drip irrigation + plastic mulch; LC: conventional tillage; IAV: green manure incorporation; IAS: corn stover incorporation; LR: reduced tillage.

En 2008, las plantas de chile de parcelas manejadas con el sistema ACOL tendieron a ser más altas después de las 680 UC acumuladas, mientras que en 2009 las plantas manejadas con ACOL fueron más altas desde el inicio hasta las 718 UC, después de lo cual la altura del cultivo fue similar entre todos los sistemas de manejo. En promedio, la altura de las plantas de chile fue aproximadamente 10, 11 y 5 cm mayor en 2007 que en 2008, 2009 y 2010, respectivamente, deteniendo las plantas su crecimiento en altura entre las 960 y 989 UC, observándose una relación directa entre altura y la acumulación de UC.

El diámetro del tallo de las plantas de chile fue diferente entre años, pero la respuesta dentro de años a los diferentes tratamientos tecnológicos fue similar (Figura 2). En 2007, las plantas de chile alcanzaron en promedio un diámetro de tallo de aproximadamente 17 mm, mientras que diámetros de 13.5, 12 y de 15 mm se cuantificaron en 2008, 2009 y 2010, respectivamente. En 2009 y 2010, la respuesta de las plantas

The stem diameter of the chili plants was different between years, but the response within the same year to different technological treatments was similar (Figure 2). In 2007, the chili pepper plants reached an average stem diameter of approximately 17 mm, while diameters of 13.5, 12 and 15 mm were measured in 2008, 2009 and 2010, respectively. In 2009 and 2010, the response of chili pepper plants managed with ACOL was to show a wider stem diameter than with other management systems, although the wider stem diameter could be seen during the growth period from 418 to 911 HU in 2009, and from 400 HU until the end of the season in 2010. Chili pepper plants stopped growing in terms of stem diameter between 946 and 1007 HU. Based on the coefficients of determination R^2 , the linear platform models explained between 90 and 98% of the variability shown by plant height and between 92 and 99% of the variability of stem diameter. The growth rates for plant height and stem diameter were higher in 2007 than in other years, but the chili pepper plants required less accumulation of HU to reach their platforms in 2008 and 2009.

de chile manejadas con ACOL fue mostrar un diámetro de tallo mayor que con otros sistemas de manejo, aunque este alto diámetro de tallo se mostró durante el periodo de crecimiento de 418 hasta 911 UC en 2009 y de 400 UC hasta el fin de la estación en 2010. Las plantas de chile detuvieron su crecimiento en términos de diámetro de tallo entre 946 y 1 007 UC. Basado en los coeficientes de determinación R^2 , los modelos de plataforma lineal explicaron entre 90 y 98% de la variabilidad mostrada por la altura de planta y entre 92 y 99% de la variabilidad de diámetro de tallo. Las tasas para altura de planta y diámetro de tallo en 2007 fueron más rápidas que en los otros años, pero las plantas de chile requirieron menos acumulación de UC para alcanzar sus plataformas en 2008 y 2009.

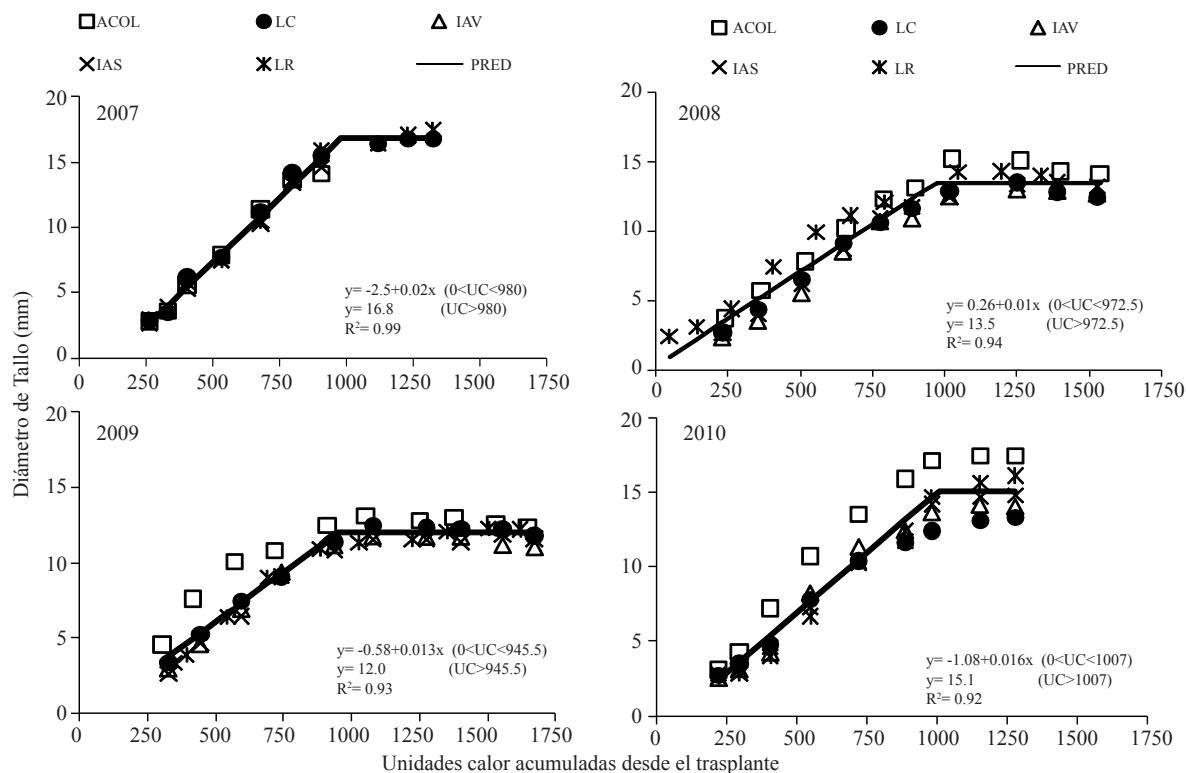
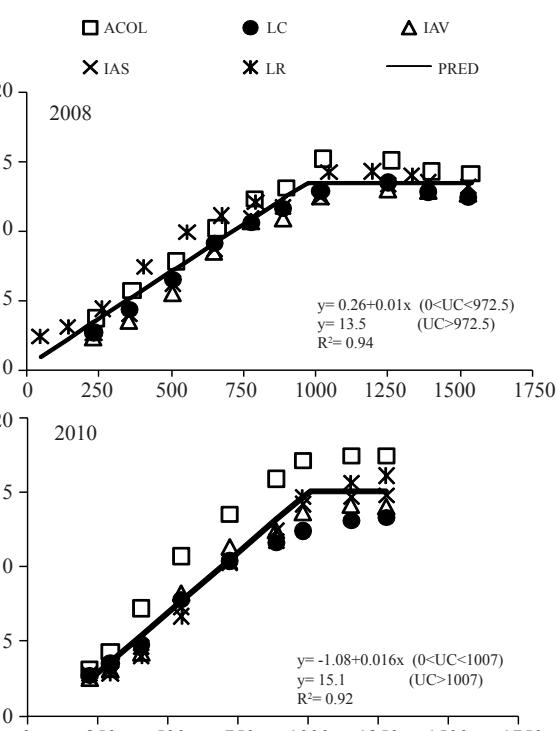


Figura 2. Diámetro de tallo de chile mirasol como una función de las unidades calor estimadas a través de la temporada de crecimiento. Temperaturas umbrales 30/10 °C. ACOL= Riego por goteo+Acolchado Plástico, LC= labranza convencional, IAV= incorporación de abono verde, IAS= incorporación de abono seco, LR= labranza reducida.

Figure 2. Stem diameter of mirasol chili pepper as a function of the heat units estimated throughout the growing season. Threshold temperatures 30/10 °C. ACOL: drip irrigation + plastic mulch; LC: conventional tillage; IAV: green manure incorporation; IAS: corn stover incorporation; LR: reduced tillage.

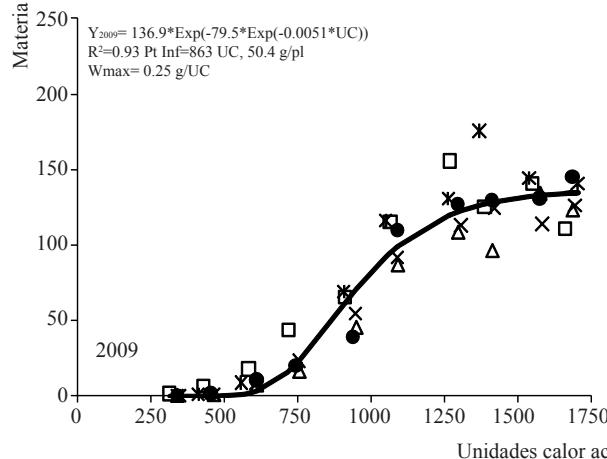
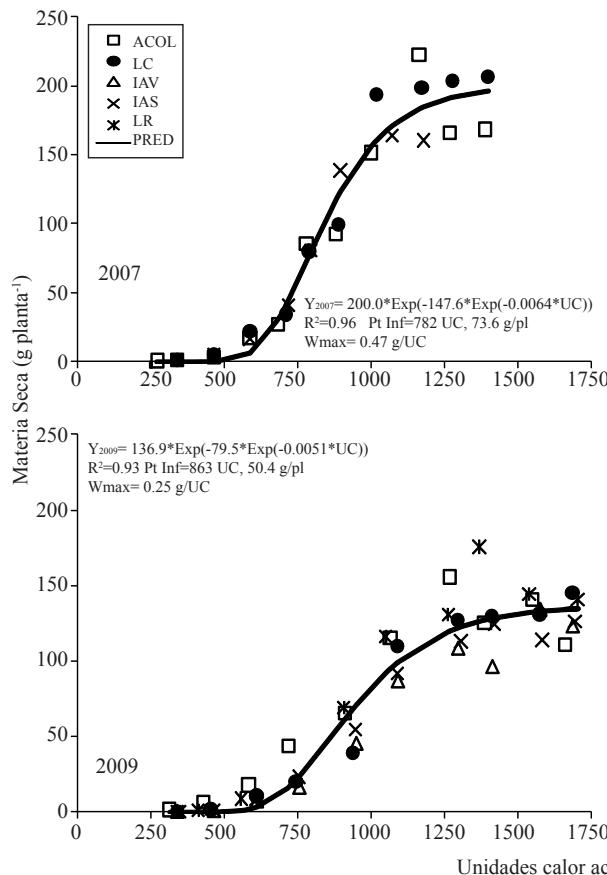
En 2007, la materia seca (MS) de las plantas de chile crecidas en los sistemas de producción ACOL, IAS y LC fue similar en los primeros 796 UC aunque tal similitud en MS de las plantas de chile producidas con los sistemas ACOL y LC se extendió hasta 888 UC (Figura 3). La MS de plantas de chile con el

In 2007, the dry matter (DM) of the chili plants grown under the production systems ACOL, IAS and LC was similar for the first 796 HU, although such similarity in the DM of the chili plants produced with the ACOL and LC systems continued to 888 HU (Figure 3). The DM of chili plants managed with the LC system showed stabilization in their growth from 1019 HU. In 2008, the DM in the different management systems was similar during the first 680 HU, but the DM of chili pepper plants in plots with ACOL was higher than the plants in the other systems from 680 HU to the end of the crop cycle. The accumulation of DM in chili plants managed with ACOL and LC stopped at 1 268 HU, while the plants managed with LR accumulated DM until 1174 HU.



In 2009, the response of chili pepper plants to the different management systems was similar throughout the crop cycle, except for the chili plants managed with ACOL and LR, which showed a higher DM than the plants in the other systems at 1 267 and 1 366 HU. In 2010, the accumulated

sistema LC mostró una estabilización en su crecimiento a partir de las 1 019 UC. En 2008, la MS en los diferentes sistemas de manejo fue similar durante las primeras 680 UC, pero la MS de plantas de chile en parcelas con ACOL fue mayor que la de los otros sistemas desde esa acumulación de unidades calor hasta el final del ciclo del cultivo. La acumulación de MS de plantas de chile en ACOL y LC paró a las 1 268 UC, mientras que las plantas en LR acumuló MS hasta las 1 174 UC.



DM began to differ after 970 HU; the chili plants managed with ACOL stood out by showing the highest accumulation of DM during the rest of the season.

Based on the coefficients of determination R^2 , the Gompertz models explained between 90 and 96% of the variability in the relationship DM-HU. Across the management systems, the estimated total accumulation of DM, represented by the

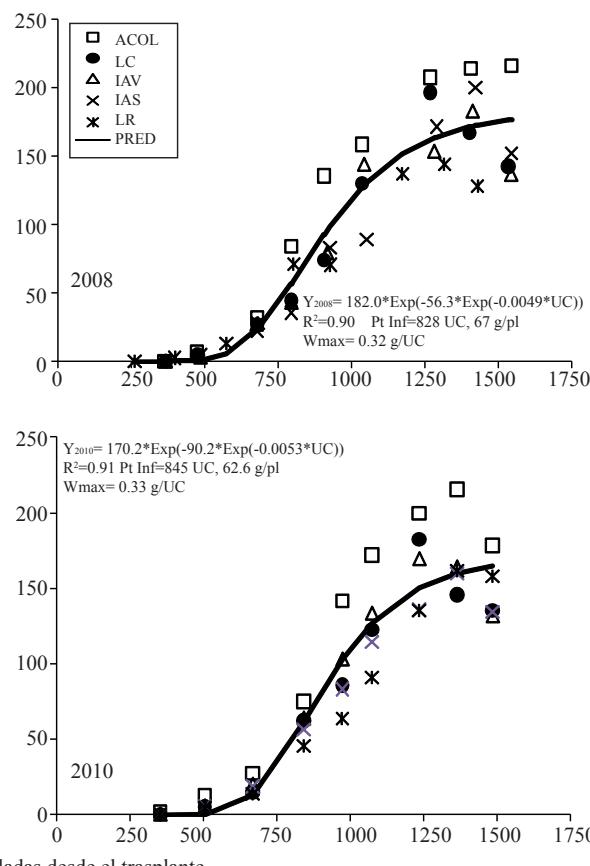


Figura 3. Materia seca acumulada en respuesta a los sistemas de manejo de acolchado plástico+ riego por goteo (ACOL), incorporación de abono verde (IAV), incorporación de abono seco (IAS), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC). Temperaturas umbrales 30/10 °C. La línea continua representa datos estimados por la ecuación de Gomperz.

Figure 3. Accumulated dry matter in response to the management systems of ACOL: drip irrigation + plastic mulch; LC: conventional tillage; IAV: green manure incorporation; IAS: corn stover incorporation; LR: reduced tillage. Threshold temperatures 30/10 °C. The continuous line represents the data estimated by the Gomperz equation.

En 2009, la respuesta de las plantas de chile a los diferentes sistemas de manejo fue similar a través de todo el ciclo del cultivo, excepto por aquellas plantas de chile manejadas con ACOL y LR, que mostraron una MS por encima de los otros sistemas a las 1267 y 1366 UC. En 2010, la MS acumulada empezó a ser diferente desde las 970 UC, sobresaliendo las plantas de chile en ACOL por mostrar la más alta acumulación de MS durante el resto de la temporada.

parameter A, was less than in 2007; 9% less in 2008, 32% in 2009 and 15% in 2010, while the estimated rate of accumulation of DM, represented by the parameter K, was slower than in 2007: 23% in 2008, 20% in 2009 and 17% in 2010. The turning point, which represents the time in HU when the maximum accumulation of DM occurs, came earlier in 2007 than in 2008 and 2009 because the maximum rate of 0.47 g HU^{-1} was reached at 782 HU. The

Basado en los coeficientes de determinación R^2 , los modelos de Gompertz explicaron entre 90 y 96% de la variabilidad en la relación MS-UC. A través de los sistemas de manejo, la acumulación total de MS estimada, la cual es el parámetro A, fue 9% en 2008, 32% en 2009 y 15% en 2010 menos que en 2007, mientras que tasa estimada de acumulación de MS, representada por el parámetro K, fue 23% en 2008, 20% en 2009 y 17% en 2010 más lenta que en 2007. El punto de inflexión, el cual representa el tiempo en UC cuando ocurre la máxima acumulación de MS, fue más temprano en 2007 que en 2008 y 2009, debido a que la tasa máxima de 0.47 g UC^{-1} se alcanzó a las 782 UC. Las tasas máximas en 2008, 2009 y 2010 fueron 0.32 g UC^{-1} ocurridas a las 828 UC, 0.26 g UC^{-1} a las 863 UC y 0.33 g UC^{-1} a las 845 UC, respectivamente.

El menor rendimiento de chile de primera, y en menor grado el rendimiento total, observado en parcelas manejadas con ACOL en 2007 y 2010, así como en parcelas con LR en 2010, fue principalmente atribuido al efecto producido por *Phytophthora capsici* en el número de frutos por metro cuadrado más que en el peso de fruto (Cuadro 1). En algunos sitios de la parcela con ACOL en 2007 la población de plantas enfermas fue de hasta 100%, distribuyéndose este porcentaje en 50% de la parcela.

En 2007, los rendimientos de primera y total obtenidos con el sistema LR fueron 68 y 13%, así como 62 y 11% más altos que con los sistemas ACOL y LC (Cuadro 1). En este año, el rendimiento de primera y las otras calidades de fruta incluidas dentro del rendimiento total no fueron medidos en parcelas con los sistemas IAV y IAS, porque el primero fue establecido hasta 2008 y el último fue perdido a causa del ataque de enfermedades de la raíz.

En 2008 y 2010, las parcelas con LR y ACOL mostraron similares rendimientos de fruto de primera, pero diferentes a IAV, IAS y LC, los cuales fueron estadísticamente similares entre ellos, a pesar de la diferencia respecto a IAV de 526 kg ha^{-1} por abajo en IAS en 2008 y 329 kg ha^{-1} por abajo en LC en 2010. Mientras que LR y IAV produjeron similares rendimientos de primera en 2009, así como una tendencia constante en relación con los rendimientos obtenidos en 2008, parcelas con IAV, IAS y LC mostraron una significante reducción de rendimiento.

Los resultados sugieren que el cultivo de chile respondió de manera diferente a los sistemas de manejo al mostrar valores más altos de altura de planta, diámetro de tallo y

maximum rates in 2008, 2009 and 2010 were 0.32 g^{-1} at 828 HU, 0.26 g HU^{-1} at 864 HU and 0.33 g HU^{-1} at 845 HU, respectively.

The lower yield of first class chili, and in a lesser degree the total yield, observed in plots managed with ACOL in 2007 and 2010, as well as in plots with LR in 2010, was primarily attributable to the effect of *Phytophthora capsici* on the number of fruits per square meter, more than to the weight of fruit (Table 1). In some parts of the plot with ACOL, in 2007, the population of diseased plants reached up to 100% distributed in 50% of the plot.

In 2007, the first class and overall yields obtained with the LR system were 68 and 13% respectively, and 62 and 11% higher than with the ACOL and LC systems (Table 1). In this year, the yield of first class chilis and of the other qualities of fruit included in the total yield were not measured in plots managed with IAV and IAS systems because the first was established until 2008 and the latter was lost due to the attack of root diseases.

In 2008 and 2010, the plots managed with LR and ACOL showed similar yields of first class fruits, but different than the yields obtained with IAV, IAS and LC, which were statistically similar to each other, despite the difference with respect to IAV, 526 kg ha^{-1} lower with IAS in 2008 and 329 kg ha^{-1} lower with LC in 2010. While LR and IAV produced similar yields of first class fruits in 2009, and showed a constant trend with respect to the yields in 2008, the plots managed with IAV, IAS and LC showed a significant reduction in yield.

The results suggest that the chili crop responded differently to the management systems; it showed higher values of plant height, stem diameter and dry matter accumulation when managed with ACOL than with other management systems. This response to ACOL can be attributed to the availability of water in the radical zone provided by drip irrigation with or without plastic mulch (Muralikrishnasamy *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2009), as well as to the prevention of the loss of soil moisture by evaporation (Mamkagh, 2009) and to the more uniform soil temperature (Van Der Westhuizen, 1980) produced by the use of padded plastics.

The performance of the soil amendments, within and across years, with respect to the growth variables was not different than with the LC system. A possible explanation for this response is related to possible insufficient amounts of dry oats and corn straw incorporated into the soil, indicating that the inorganic fertilizers were the only ones that provoked a

acumulación de materia seca cuando el cultivo fue manejado con ACOL que con los otros sistemas de manejo. Esta respuesta a ACOL puede ser atribuida a la disponibilidad de agua en la zona radical suministrada por el riego por goteo con o sin acolchado plástico Singh *et al.*, 2009), así como a la prevención de la pérdida por evaporación de la humedad del suelo (Mamkagh, 2009) y a la más uniforme temperatura del suelo (Van Der Westhuizen, 1980) producido por el uso de acolchados plásticos.

Cuadro 1. Rendimientos de chile seco (kg ha^{-1}), número de frutos de primera m^{-2} , peso por fruto (g) a la cosecha y relación beneficio/costo de chile manejado con ACOL, LC, IAV, IAS, o LR (valores promedio \pm error estandar de la media).

Table 1. Dried chili yields (kg ha^{-1}), number of first class fruits per m^{-2} , fruit weight (g) at harvest and benefit/cost relationship of chilis managed with ACOL, LC, IAV, IAS, or LR (average values \pm standard error of the mean).

Parámetro	Año	ACOL	LC	IAV	IAS	LR
Primera	2007	459.5 ± 82.64	1274.8 ± 98.46	---	---	1420.9 ± 92.97
	2008	1649.9 ± 62.1	2314.4 ± 67.34	2761.8 ± 82.33	2235.5 ± 76.71	1630.2 ± 73.96
	2009	1390.9 ± 48.12	1656.8 ± 39.82	1152.1 ± 58.72	1556.0 ± 54.54	1663.0 ± 42.39
	2010	714.0 ± 53.03	1774.4 ± 55.46	2103.6 ± 48.61	1925.7 ± 52.81	714.5 ± 68.32
Total	2007	1344.6 ± 161.41	3119.3 ± 142.50	---	---	3520.7 ± 177.81
	2008	3219.9 ± 82.46	3834.5 ± 81.03	4661.6 ± 92.25	4325.5 ± 115.38	3349.9 ± 109.29
	2009	2596.8 ± 76.46	2859.3 ± 55.19	2308.4 ± 107.35	2770.4 ± 77.11	2815.8 ± 61.21
	2010	2017.3 ± 110.30	3931.7 ± 74.48	4648.1 ± 66.73	4205 ± 66.35	1820.3 ± 124.66
Frutos m^{-2}	2007	5.8 ± 1.05	15.1 ± 1.30	---	---	16.2 ± 1.09
	2008	23.8 ± 0.88	33.4 ± 0.93	39.7 ± 1.25	30.8 ± 1.01	21.2 ± 0.79
	2009	21.5 ± 0.65	23.9 ± 0.55	16.3 ± 0.71	21.1 ± 0.70	25.0 ± 0.61
	2010	10.4 ± 0.80	26.0 ± 0.85	31.0 ± 0.86	30.7 ± 0.84	9.6 ± 0.93
Peso seco por fruto	2007	7.8 ± 0.08	8.0 ± 0.07	---	---	8.8 ± 0.14
	2008	7.0 ± 0.12	6.9 ± 0.06	7.0 ± 0.06	7.3 ± 0.05	7.7 ± 0.13
	2009	6.5 ± 0.07	6.9 ± 0.06	7.0 ± 0.10	7.4 ± 0.06	6.7 ± 0.05
	2010	6.9 ± 0.14	6.9 ± 0.06	6.9 ± 0.10	6.3 ± 0.07	6.7 ± 0.25
B/C	2007	0.55	1.96	---	---	1.68
	2008	1.52	2.69	3.26	2.83	2.45
	2009	0.96	1.49	1.14	1.47	1.79
	2010	0.64	1.94	2.29	2.10	0.99

ACOL= riego por goteo+ acolchado plástico; LC= labranza convencional; IAV= abono verde incorporado; IAS= rastrojo de maíz incorporado; LR= labranza reducida.

El desempeño dentro y a través de años de las enmiendas al suelo en las variables de crecimiento no fue diferente al sistema con LC. Una posible explicación a esa respuesta está relacionada con posibles cantidades insuficientes de materia seca de avena y paja de maíz ambos incorporados al

response by the chili pepper. In our study, the incorporation into the soil of oat green manure in amounts of 5.1 t ha^{-1} dry weight or corn straw in amounts of 2.6 t ha^{-1} involved approximately 0.9 t ha^{-1} and 0.4 t ha^{-1} less dry matter than the amounts used by Astier *et al.* (2006) and Wang *et al.* (2001) in corn, respectively. The beneficial aspects of the incorporation of oat green manure and corn stover in terms of crop productivity and the physico-chemical properties of the soils are widely recognized (Ketcheson and Beauchamp, 1978; Astier *et al.*, 2006).

However, the low amount of corn stover incorporated into the soil in our fields helped to prevent the abatement of nitrogen reserves observed by Ketcheson and Beauchamp (1978), implying that the maintenance of the yield of chili occurred because the nitrogen fertilizer was

suelo, indicando que solamente los fertilizantes inorgánicos ocasionaron la respuesta del chile. Abono verde de avena en cantidades de 5.1tha^{-1} de peso seco o paja de maíz en cantidades de 2.6tha^{-1} incorporadas al suelo en nuestro estudio, implicaron aproximadamente 0.9tha^{-1} y 0.4tha^{-1} menos que las cantidades usadas por Astier *et al.* (2006) y Wang *et al.* (2001) en maíz, respectivamente. Aspectos benéficos en la productividad del cultivo y propiedades físico-químicas de los suelos del abono verde de avena y rastrojo de maíz están ampliamente reconocidas (Ketcheson y Beauchamp, 1978; Astier *et al.*, 2006).

Sin embargo, la baja cantidad de rastrojo de maíz incorporada al suelo en nuestras parcelas ayudó a evitar el abatimiento de las reservas de nitrógeno observado por Ketcheson y Beauchamp (1978), implicando que el mantenimiento del rendimiento de chile ocurrió porque el fertilizante nitrógeno estuvo en uso. Basado en este análisis, es necesaria más investigación sobre evaluación de tipos y dosis de abonos verdes para chile seco.

El efecto de LR en el crecimiento del chile fue similar al de LC porque la única diferencia entre ambos sistemas fue la falta de actividades de labranza antes del trasplante en LR. No obstante las plántulas de chile fueran trasplantadas en surcos intactos construidos durante el manejo del cultivo previo, una textura franca del suelo así como la aplicación de riegos al momento del trasplante, a los 3 y 8 días después del trasplante promovieron un ambiente no perjudicial para el crecimiento de las raíces antes de aplicar la primera escarda. Ese ambiente probablemente incluyó una similar resistencia a la penetración del suelo en la capa arable y un incrementado contenido de la humedad del suelo entre los sistemas de labranza reducida y convencional (De Giorgio y Fornaro, 2004).

La respuesta del rendimiento del cultivo a los sistemas de manejo varió entre años a causa de la susceptibilidad a factores externos y el comportamiento a localidades de chile. La incidencia de Phytophthora ocurrió en parcelas con ACOL en 2007 y 2010, así como en LR en 2010, afectó los rendimientos total y de primera al reducir el número de frutos por m^2 . La incidencia de esta enfermedad en plantaciones de chile es usualmente promovida por un alto contenido de agua en el suelo (Ristaino, 1991), lo cual fue en nuestro caso provocado por un exceso de agua dentro de nuestras parcelas de estudio ocasionado por una fuerte tormenta asociado al desnivel de algunos surcos, lo que evitó el flujo libre de ese exceso de agua.

Las plantas tienen que hacer ajustes estomáticos debido a la generación de gradientes hídricos, los cuales son ocasionados por la diferencia entre las presiones de vapor de agua del aire

in use. Based on this analysis, more research is needed on the assessment of types and dose of green manure for dry chili.

The effect of LR on the growth of chili pepper was similar to the effect of LC, as the only difference between the two systems was the lack of farming activities before transplantation in the LR. However, the chili pepper seedlings were transplanted into intact furrows built during the previous crop management; a loamy soil and the application of irrigation at the moment of transplantation and 3 and 8 days after, promoted a non-harmful environment to root growth before applying the first weeding. This environment probably included similar soil penetration resistance in the topsoil and increased soil moisture content between the reduced tillage systems and the conventional systems (De Giorgio and Fornaro, 2004).

The crop yield response to the management systems varied between years because of the susceptibility to external factors and the behavior of the chili pepper according to its location. The incidence of Phytophthora occurred in plots managed with ACOL in 2007 and 2010, as well with LR in 2010; it affected total yields of first class fruits by reducing the number of fruits per m^2 . The incidence of this disease in chili pepper plantations is usually promoted by a high soil water content (Ristaino, 1991), which in our case was caused by an excess of water within our study plots caused by a storm and also by the irregularity of some furrows, which prevented the free flow of excess water.

Plants perform stomatal adjustments in response to the generation of water gradients, which are caused by the difference between the pressure of water vapor in the air and in the leaf (Grantz and Zeiger, 1986). In conditions of low relative humidity, transpiration increases, causing water deficits in the plants, which provokes the partial or complete closure of the stomata and increase the resistance of the mesophyll, blocking the exchange of O_2 and CO_2 , which is essential for respiration and photosynthesis (Taiz and Zeiger, 1991).

Although the yields of first class dry chilis in LR were not as high as in other systems, the yield response to this system was consistent in three of the four years of study. Comparing the response to LR with the response to LC, it can be seen that much of the response to the first system was caused by the physical conditions of the untilled soil that favored root development (Ketcheson, 1980).

y la hoja (Grantz y Zeiger, 1986). En condiciones de baja humedad relativa, la transpiración se incrementa causando déficits hídricos en las plantas, los cuales producen el cierre parcial o total de los estomas e incrementa la resistencia del mesófilo bloqueando el intercambio de O₂ y CO₂ que es esencial para la respiración y fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 1991).

Aunque los rendimientos de fruto de primera calidad de chile seco en LR no fueron tan altos como en otros sistemas, la respuesta en el rendimiento a este sistema fue consistente en tres de los cuatro años de estudio. De acuerdo a la respuesta a LR en comparación al sistema de LC, mucho de esta respuesta fue ocasionada por la condición física del suelo sin labrar para el desarrollo de la raíz (Ketcheson, 1980).

Conclusiones

Los resultados descritos en este estudio indican que los rendimientos de chile seco en el altiplano de Zacatecas están influenciados a través de años por una serie de factores extrínsecos, tales como enfermedades y algunos elementos climáticos presentes a través de la duración del estudio más que por el sistema de producción usado. Esta misma respuesta del rendimiento del cultivo fue observada no obstante la adición al análisis del componente económico, lo cual indica que cualquiera de los sistemas de producción evaluados, excepto por ACOL, permitió la recuperación de la inversión y obtener ganancias. Pérdidas económicas por el sistema de producción ACOL son atribuibles a su disminuido rendimiento de fruto y gastos anuales en la película plástica, riego por goteo y fertilizantes solubles.

En base a los rendimientos obtenidos a través de los cuatro años de estudio, la incorporación de abonos verde o seco representan una recomendable alternativa, porque además de regresar al suelo algo que se le extrajo volviéndolo un sistema sostenible, siempre se obtuvo más de lo económicamente invertido. Los resultados obtenidos con el sistema de labranza reducida demuestran que la producción de chile no requiere del disturbio del suelo previo a la plantación, lo que lo vuelve un sistema altamente sostenible y rentable por lo reducido de su inversión. El sistema convencional o tradicional podría continuar siendo una opción importante en la producción de chile mirasol, ya que con un manejo adecuado del agua de riego, fertilización, y una oportuna aplicación de las actividades de labranza, la rentabilidad del sistema es posible.

Conclusions

The results described in this study indicate that dried chili pepper yields in the highlands of Zacatecas were influenced through the years by a number of extrinsic factors, such as diseases and some climatic elements present throughout the duration of the study, rather than by the production system used. This same response of crop yield was observed despite the addition of an economic component to the analysis, which indicates that any of the production systems tested, except for ACOL, allowed to recover the investment and to obtain a profit. The economic losses caused by the ACOL production system are attributable to the decreased in fruit yield and the annual expenditure on plastic films, drip irrigation and soluble fertilizers.

Based on the yields obtained through the four years of study, the incorporation of green or dry manure represents a good alternative, because in addition to returning to the soil something that was extracted from it, thus making it a sustainable system it was always possible to obtain more than what was invested. The results obtained with the reduced tillage system show that the production of chili pepper does not require the disturbance of the soil prior to planting, which makes it a highly sustainable and profitable system due to the need of a lower investment. The conventional or traditional system could continue to be an important option in mirasol chili production because, with proper management of irrigation water, fertilization, and the timely implementation of the activities of tillage, it can be a profitable system.

End of the English version



Literatura citada

- Amador, R. M. D. 1991. Diagnóstico de malezas en chile *Capsicum annuum* L. en Zacatecas. XII Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Acapulco, Guerrero. 103 p.
- Bravo, L. A. G.; Cabañas, C. B.; Mena, C. J.; Velásquez, V. R.; Rubio, D. S.; Mojarral, D. F. y Medina, G. G. 2002. Guía para la producción de chile seco en el Altiplano de Zacatecas. Publicación técnica Núm. 1. Campo Experimental Zacatecas, INIFAP. 40 p.
- Burciaga, G. M.; Bravo, L. A. G. y Amador, R. M. D. 2004. Eficiencia del agua en el cultivo de chile seco mirasol (*Capsicum annuum* L.) con riego por goteo, con y sin acolchado y riego por gravedad. 1^a Convención Mundial del Chile 2004. León, Guanajuato. México. 215-219 pp.

- De Giorgio, D. and Fornaro, F. 2004. Tillage systems for a sustainable growth of broad bean (*Vicia faba L. major*) in a semiarid region of Southern Italy. 13th International Soil Conservation Organisation Conference. Brisbane, July 2004. Paper 934. 4 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). 2009. Food and agricultural commodities production. <http://www.faostat.fao.org> (consultado septiembre, 2011).
- Galindo, G. G.; López, M. C.; Cabañas, C. B.; Pérez, T. H. y Robles, M. A. 2002. Caracterización de productores de chile en el altiplano de Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Folleto científico Núm. 5. 102 p.
- Grantz, D. A. and Zeiger, E. 1986. Stomatal responses to light and leaf-air water vapor pressure difference show similar kinetics in sugarcane and soybean. *Plant Physiol.* 81:865-868.
- Johnson, W. G.; Kendig, J. A.; Massey, R. E.; Defelice, M. S. and Becker, Ch. D. 1997. Weed control and economic returns with postemergence herbicides in narrow-row soybeans (*Glycine max*). *Weed Technol.* 11:453-459.
- Ketcheson, J. W. and Beauchamp, E. G. 1978. Effects of corn stover, manure, and nitrogen on soil properties and crop yield. *Agron. J.* 70:792-797.
- Ketcheson, J. W. 1980. Effect of tillage on fertilizer requirements for corn on a silt loam soil. *Agro. J.* 72:540-542.
- Land and Water Conservation. 1978. Reduced tillage for soil erosion control. Natural Resources, New South Wales Government. 6 p. http://www.naturalresources.nsw.gov.au/care/soil/soil_pubs/pdfs/reduced_tillage.pdf. (consultado agosto, 2009).
- Lyon, D. J.; Bruce, S.; Vyn, T. and Peterson, G. 2004. Achievements and future challenges in conservation tillage. In: New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. 26 sep.- 01 oct. 2004, Brisbane, Australia.
- Mamkagh, A. M. A. 2009. Effect of tillage time and plastic mulch on growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) grown under rainfed conditions. *International J. Agric. Biol.* 11:453-457.
- Mojarro, D. F. 2004. Optimización del uso del agua de riego para incrementar la productividad de chile seco en Zacatecas. 1^a Convención Mundial del Chile 2004. León, Guanajuato. México. 203-210 pp.
- Reddy, K. N. and Whiting, K. 2000. Weed control and economic comparisons of glyphosate-resistant, sulfonylurea-tolerant, and conventional soybean (*Glycine max*) systems. *Weed Technol.* 14:204-211.
- Ristaino, J. B. 1991. Influence of rainfall, drip irrigation, and inoculum density on the development of Phytophthora root rot and crown rot epidemics and yield in bell pepper. *Phytopathology* 81:922-929.
- Scholberg, J.; McNeal, B. L.; Jones, J. W.; Boote, K. J.; Stanley, C. D. and Obreza, T. A. 2000. Growth and canopy characteristics of field grown tomato. *Agron. J.* 92:152-159.
- Serna, P.; A.; Zegbe, D. J.; Mena, C. J. y Rubio, D. S. 2008. Sistemas de manejo para la producción sustentable de chile seco Cv. Mirasol. *Rev. Fitotec. Mex.* 31. Núm. Esp. 3:41-44.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola <http://www.siap.gob.mx>. (consultado septiembre, 2011).
- Singh, R.; Kumar, S.; Nangare, D. D. and Meena, M. S. 2009. Drip irrigation and black polyethylene mulch influence on growth, yield and water-use efficiency of tomato. *African J. Agric. Res.* 4:1427-1430.
- Statistical Analysis Systems (SAS). 1999-2001. SAS/STAT User's Guide. Carey, N. C. Release 8.02.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc. Redwood City, Calif. USA.
- Vandepitte, V.; Quataert, P.; De Rore, H. and Verstraete, W. 1995. Evaluation of the Gompertz function to model survival of bacteria introduced into soils. *Soil Biol. Biochem.* 27:365-372.
- Van Der Westhuizen, J. H. 1980. The effect of black plastic mulch on growth, production and root development of chenin blanc vines under dryland conditions. *South African J. Enol. Viticulture* 1:1-6.
- Wang X. B.; Cai, D. X. and Zhang, J. Q. 2001. Land application of organic and inorganic fertilizer for corn in dryland farming region of North China. In: de Stott, R. H.; Mohtar, G.; Steinhardt, C. (eds.). 2001. Sustaining the global Farm. 10th International Soil Conservation Organization Meeting. May 24-29, 1999. Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. USA. 419-422 pp.

Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y Tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo el método riego-sequia en Chihuahua*

Evaluation of the yield of common (*Phaseolus vulgaris* L.) and Tepary (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) beans with the irrigation-drought method in Chihuahua

José Cruz Jiménez Galindo¹ y Jorge Alberto Acosta Gallegos²

¹Campo Experimental Sierra de Chihuahua- INIFAP. Ave. Hidalgo 1213. Col. Centro Cd. Cuauhtémoc, Chih. C. P. 31500. ²Campo Experimental Bajío- INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5. C. P 38110. Celaya, Guanajuato. acosta.jorge@inifap.gob.mx. Autor para correspondencia: jimenez.cruz@inifap.gob.mx.

Resumen

La sequía es el factor que más limita la producción de frijol de temporal (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. El objetivo del presente trabajo fue identificar frijol común y Tépari más resistentes a la sequía que Pinto Villa y Pinto Saltillo. Los experimentos en 2010 y 2011 se establecieron en la Estación Experimental de INIFAP en Bachiniva, Chihuahua. Se evaluaron siete variedades de frijol de diferente raza, hábito de crecimiento y contrastantes en la respuesta a la sequía. Se utilizó el método riego-sequía con dos riegos de auxilio durante el ciclo más la precipitación en el año (351 mm) y el tratamiento de sequía solo con la precipitación en el año. Se evaluó días a floración, días a madurez fisiológica y el rendimiento de semilla en kg ha⁻¹. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición constó de dos surcos de 5 m en 2010 y un surco de 5 m por repetición en 2011. Se utilizó la fórmula de fertilización 30-50-00. En 2010 el genotipo más estable fue Rosa La Bufa con tan sólo 10.5% de incremento del rendimiento en riego con respecto a sequía. En 2011 los genotipos más estables fueron tépari café con 152.5% y Rosa La Bufa con 198.4%.

Palabras clave: frijol común, frijol Tépari, resistencia a sequía.

Abstract

Drought is the main factor limiting the production of rainfed beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mexico. The aim of this study was to identify varieties of common and Tepary beans that are more resistant to drought than the varieties Pinto Villa and Pinto Saltillo. The experiments were established in 2010 and 2011 at the Experimental Station of INIFAP in Bachiniva, Chihuahua. Seven bean varieties were evaluated, all of different race, growth habit and response to drought. We used the irrigation-drought method, with two support irrigations during the cycle plus the precipitation of the year (351 mm) for the irrigation treatment, and only the precipitation of the year for the drought treatment. We evaluated days to flowering, days to physiological maturity and seed yield in kg ha⁻¹. The experimental design was a randomized complete block with four replicates. Each replicate comprised of two furrows of 5 m in 2010 and a furrow of 5 m per replicate in 2011. Was used the fertilizer formula 30-50-00. In 2010, the most stable genotype was Rosa La Bufa, with an increase in yield of only 10.5% under irrigation compared to drought. In 2011, the most stable genotypes were brown Tepary with 152.5% and Rosa La Bufa with 198.4%.

Key words: Tepary bean, common bean, resistance to drought.

* Recibido: junio de 2012
Aceptado: enero de 2013

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas de grano más importante a nivel mundial, su cultivo está extendido en los cinco continentes y aunque no está considerado dentro de los cuatro cultivos prioritarios, es uno de los alimentos básicos de los pobladores de algunas regiones de África, América Latina y el Caribe Lépiz, (2000). Para México, es un cultivo estratégico, ya que ocupa el segundo lugar en superficie a nivel nacional, con un promedio de 1.688 millones de hectáreas. Su producción es de casi un millón de toneladas con un valor de 6.94 mil millones de pesos SAGARPA, (2009).

En América Latina, se ha estimado que el estrés hídrico reduce el rendimiento del frijol 73% Van Scoonhoven y Voyset, (1989). Durante el periodo de cultivo, el frijol puede ser afectado por múltiples factores adversos que reducen el rendimiento, como la sequía y las enfermedades causadas por patógenos de la raíz y foliares que disminuyen hasta 50% los rendimientos, esto ha obligado a investigadores a desarrollar nuevas estrategias que permitan estabilizar la producción y contribuir a la competitividad del frijol Van Bruggen *et al.*, (1986).

En un programa de mejoramiento genético, el investigador considera genotipos contrastantes respecto al carácter de interés; sin embargo, la segregación de los genes puede reflejarse en la variedad mejorada, ya que no todos los individuos presentan el carácter deseado absoluto. Esto dependerá de la base genética y del nivel de recombinación Staub *et al.* (1996).

El frijol no es reconocido como una especie resistente a la sequía; sin embargo, posee características que confieren escape (precocidad), evasión y tolerancia a la deshidratación pero es necesario identificar y utilizar dichas características en un programa de mejoramiento genético Acosta *et al.* (2004).

La ventaja de utilizar germoplasma exótico de frijol para mejorar la tolerancia de los granos cultivados a estrés ambiental ha sido defendida por varios autores (Pratt, 1983; Thomas and Waines, 1984). Para realizar esto, es necesaria una comprensión de las cualidades que contribuyen a aumento de la tolerancia. A pesar de la capacidad demostrada de frijol tépari para producir altos rendimientos en agricultura de secano, hay escases de información sobre las características que dan lugar a su tolerancia a la sequía.

Introduction

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important grain legumes worldwide; it is cultivated in all five continents and, while not considered one of the four priority crops, it is one of the staples of the people in some regions of Africa, Latin America and the Caribbean (Lépiz, 2000). For Mexico, it is a strategic crop, occupying the second place with respect to cultivated surface with an average of 1.688 million hectares. Nearly one million tons are produced each year with a value of 6.94 billion pesos, SAGARPA, (2009).

It has been estimated that in Latin America water stress reduces bean yield by 73% (Van Scoonhoven and Voyset, 1989). During the culture period, the bean can be affected by many factors that reduce its yield, such as drought and diseases caused by root and foliar pathogens which decrease yield by up to 50%; this has forced researchers to develop new strategies for stabilizing the production of beans make it more competitive as a commercial crop (Van Bruggen *et al.*, 1986).

In a breeding program, the researcher considers genotypes that contrast with respect to the character of interest; however, the segregation of genes can be reflected in the improved variety, as not all individuals have the desired character. This depends on the genetic basis and on the recombination level (Staub *et al.*, 1996).

The bean is not recognized as a drought-resistant species; however, it has several characteristics that confer it escape (precocity), avoidance and dehydration tolerance, but it is necessary to identify and use these characteristics in a breeding program (Acosta *et al.*, 2004).

The advantage of using exotic bean germplasm to improve the tolerance of grain crops to environmental stress has been advocated by several authors (Pratt, 1983; Thomas and Waines, 1984). To do this, we need an understanding of the qualities that contribute to an increased tolerance. Despite the demonstrated ability of the Tepary bean to produce high yields under rainfed agriculture, there is a shortage of information on the characteristics that lead to its tolerance to drought.

There are two general ways by which plants cope with a dry environment. The first is tolerance to dehydration, by which the plant keeps growing and performing photosynthesis at low water potentials when there is a lack of water.

Hay dos métodos generales mediante los cuales las plantas hacen frente a un ambiente seco. El primero es la tolerancia a la deshidratación que puede soportar la pérdida de agua y aun así se da el crecimiento de la planta y la fotosíntesis a potenciales hídricos bajos.

El segundo es que no se puede posponer la deshidratación soportando bajos potenciales de agua del tejido pero tiene características que evitan o posponen la pérdida de agua de los tejidos y mantienen altos potenciales de agua en la hoja y la turgencia. La caracterización de los mecanismos por los cuales tépari enfrenta un ambiente seco permitirá mejor a los investigadores planificar los programas de mejoramiento para mover cualidades convenientes en el frijol Markhart (1985).

El déficit de agua sigue siendo uno de los más significativos problemas de los cultivos de importancia agrícola, afectando el crecimiento, el desarrollo, y el rendimiento Verslues *et al.* (2006). Las plantas adaptadas a regiones áridas y semiáridas han desarrollado mecanismos para sobrevivir y tener éxito en estas condiciones adversas Trejo-Calzada and O'Connell (2005). La respuesta de las plantas a este estrés ambiental depende de varios factores, incluyendo la etapa de desarrollo de la planta y la longitud y la severidad y el estrés aplicado Bray (2002); Torres *et al.* (2006).

En los tejidos de las hojas, la percepción de estrés por sequía hace que al cerrar los estomas se reduzca la transpiración y por lo tanto limita la absorción de dióxido de carbono y reduce las tasas de fotosíntesis Turkan *et al.* (2005). Como resultado del déficit hídrico también puede haber mayor crecimiento de raíces Lazcano-Ferrat and Lovatt, (1999). Esto aumenta el volumen del suelo explorado por la planta para tener mayor disponibilidad de agua. Las plantas también sintetizan compuestos que funcionan como osmolitos para mantener el potencial hídrico y otras proteínas que usan para proteger las células de daños O'Connell, (1995); Maggio *et al.* (2006). Todas estas respuestas son controladas por el complejo mecanismos que implican cambios en la expresión génica.

Algunos productos de los genes están directamente involucrados en los mecanismos de protección, tales como las proteínas abundantes de embriogénesis final (LEA), la síntesis de osmolitos y funciones de transporte de iones; otros productos de genes, por ejemplo factores de transcripción o quinasas, que participan en las vías de transducción de señales que median las respuestas celulares a los estímulos externos Torres *et al.* (2006); Rodríguez-Uribe y O'Connell (2006); Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, (2007).

The second involves certain characteristics of the plant tissue that prevent or postpone the loss of water and maintain high water potentials and turgor in the leaves, even when overall dehydration cannot be postponed. The characterization of the mechanisms by which the Tepary bean copes with a dry environment will allow researchers to plan breeding programs to move desirable qualities between beans (Markhart, 1985).

Water deficit remains one of the most significant problems for agriculturally important crops, affecting growth, development, and yield (Verslues *et al.*, 2006). Plants adapted to arid and semi-arid regions have developed mechanisms to survive and succeed in these adverse conditions (Trejo-Calzada and O'Connell, 2005). The response of plants to this environmental stress depends on several factors, including the stage of development of the plant and the duration and severity of the stress (Bray, 2002; Torres *et al.*, 2006).

In leaf tissue, the perception of drought stress causes stomatal closure, which reduces perspiration and thus limits the absorption of carbon dioxide and reduces photosynthesis rates (Turkan *et al.*, 2005). Greater root growth may also occur as a result of water deficit (Lazcano-Ferrat and Lovatt, 1999). This increases the volume of soil explored by the plant and thus water availability. Plants also synthesize compounds that function as osmolytes to maintain the water potential, as well as other proteins used to protect cells from damage (O'Connell, 1995; Maggio *et al.*, 2006). All of these responses are controlled by complex mechanisms involving changes in gene expression.

Certain gene products such as Late Embryogenesis Abundant (LEA) proteins are directly involved with protection mechanisms; others with the synthesis of osmolytes and ion transport functions; and yet other gene products such as transcription factors or kinases participate in signal transduction pathways that mediate cellular responses to external stimuli (Torres *et al.*, 2006; Rodríguez-Uribe and O'Connell, 2006; Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, 2007). The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important food legume grown worldwide (Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). A major constraint to bean production is water deficit (Laing *et al.*, 1984)

There is genetic diversity within *P. vulgaris* for resistance to drought, and it is likely that the analysis of its physiological traits will allow to select resistant or tolerant genotypes

Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa alimenticia más importante que se cultiva en todo el mundo Ramírez-Vallejo and Kelly (1998). Una limitación importante para la producción de frijol es el déficit de agua Laing *et al.* (1984).

Existe diversidad genética dentro de *P. vulgaris* para resistencia a la sequía y con algunos análisis de los rasgos fisiológicos es probable seleccionar genotipos resistentes o tolerantes Lizana *et al.* (2006); Muñoz-Perea (2006). Otro miembro del género, *P. acutifolius* (frijol tépari), es nativo del desierto de Sonora en Norteamérica y es notable en el fenotipo la resistencia a la sequía Lazcano-Ferrat and Lovatt (1999) con el uso de marcadores moleculares puede ser posible un mejoramiento acelerado al pasar características de *P. acutifolius* al frijol común Jiménez-Galindo *et al.* (2010). Esta planta también posee un ciclo de producción muy corto y es más tolerante al calor que el frijol común, produce semillas con proteína de alta calidad adecuados para el consumo humano Micheletto, *et al.* (2007).

Materiales y métodos

Ubicación y diseño de experimento

Los experimentos se realizaron en la Estación Experimental de INIFAP, en Bachiniva, Chihuahua: $28^{\circ} 47' 19.32''$ N, $107^{\circ} 16' 11.64''$ E, de latitud norte, $107^{\circ} 16' 11.64''$ longitud oeste, a una altitud de 2012 msnm. En un suelo franco arcilloso con 43% de arena, 28.72% de limo y 28.28% de arcilla, libres de sales, altos contenidos de materia orgánica de 2.01%; la pendiente del terreno fluctuó desde 0.16%, hasta 0.64%. Se aplicó la fórmula de fertilización 30-50-00, en ambos niveles de humedad. La precipitación durante el ciclo 2010 el cultivo fue de 351 mm, la siembra se realizó el 4 de julio de 2010 y se aplicaron dos riegos de auxilio, en el tratamiento de riego, de 10 mm cada uno el día 2 de agosto y 11 de septiembre.

La precipitación en 2011 fue de 246 mm, la siembra se realizó el 15 de julio del 2011 y se aplicaron seis riegos de auxilio, en el tratamiento de riego de 10 mm los días 3, 26 y 30 de agosto y 15, 11 y 28 de septiembre. Se evaluó el rendimiento en kg ha^{-1} . Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada repetición constó de 2 surcos de 5 m de longitud en 2010 y un surco de 5 m de longitud en 2011. El grano fue estandarizado al 11% de humedad para calcular el rendimiento por hectárea.

(Lizana *et al.*, 2006; Muñoz-Perea, 2006). Another member of the genus, *P. acutifolius* (Tepary bean), is native to the Sonoran Desert in North America and its phenotype is remarkable for its resistance to drought (Lazcano-Ferrat and Lovatt, 1999). With the use of molecular markers it may be possible to perform an accelerated improvement by passing characteristics of *P. acutifolius* to the common bean (Jimenez-Galindo *et al.*, 2010). This plant has also a very short production cycle and is more tolerant to heat than the common bean; it produces seeds with high quality protein suitable for human consumption (Micheletto, *et al.*, 2007).

Materials and methods

Location and design of experiment

The experiments were conducted at the Experimental Station of INIFAP in Bachiniva, Chihuahua: $28^{\circ} 47' 19.32''$ N, $107^{\circ} 16' 11.64''$ E, at an altitude of 2012 masl. The terrain has a clay loam soil with 43% sand, 28.72% silt and 28.28% clay, free of salts, high in organic matter content (2.01%); the slope of the plot ranged from 0.16% to 0.64%. The fertilizer formula 30-50-00 was applied in both humidity levels. Rainfall during the 2010 growing cycle was 351 mm; sowing was carried out on July 04, 2010, and two support irrigations, each of 10 mm, were applied under the irrigation treatment on August 02 and September 11.

Rainfall in 2011 was 246 mm; sowing was carried out on July 15, 2011; six irrigations of 10 mm each were applied under the irrigation treatment on August 03, 26 and 30, and September 15, 11 and 28. Yield was evaluated in kg ha^{-1} . We used a randomized complete block experimental design with three replicates. Each replicate consisted of 2 furrows of 5 m in length in 2010 and a furrow of 5 m in length in 2011. The grain was standardized to 11% moisture to calculate the yield per hectare.

Germplasm

We used varieties collected in 2008 in the state of Chihuahua. In this study we used three varieties of Tepary collected in Sonora: Pinto Saltillo (Sánchez *et al.*, 2004) as a control of higher quality and yield; Pinto Villa as a drought resistant control (Acosta-Díaz *et al.*, 2004); the Azufrado Higuera variety (Salinas *et al.*, 1995) from Sinaloa, and Rosa La Bufa, collected in 2009 in La Bufa, Chihuahua (Table 1).

Germoplasma

Se utilizaron variedades recolectadas en 2008 en el estado de Chihuahua. En esta investigación se utilizaron 3 variedades de tépari recolectadas en Sonora, Pinto Saltillo (Sánchez *et al.*, 2004) como testigo de mayor calidad y producción, Pinto Villa como testigo resistente a sequía (Acosta-Díaz *et al.*, 2004), la variedad Azufrado Higuera (Salinas *et al.*, 1995) de Sinaloa y Rosa La Bufa, recolectado en 2009 en La Bufa, Chihuahua (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación y características agronómicas de siete variedades de frijol de temporal.

Table 1. Classification and agronomic characteristics of seven rainfed bean varieties.

Variedad	Habito de crecimiento	Tamaño de la semilla	Nombre científico
Tépari RS	III	Chico	<i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray
Pinto Saltillo	III	Mediano	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
Rosa La Bufa	III	Mediano	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
Pinto Villa	III	Mediano	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
Tépari Café	III	Chico	<i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray
Tépari Pinto	III	Chico	<i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray
Azufrado Higuera	I	Grande	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

Intensidad de la sequía

El índice de susceptibilidad a la sequía (ISS) se calculó para el rendimiento de semilla en los dos ambientes contrastantes de riego y sequía. $ISS = [I - (Y/Y_p)/I - (X/X_p)]$; donde, Y es el rendimiento de semilla; Y_p es el rendimiento de semilla en riego; X es el promedio del rendimiento de semilla en sequía; y X_p es el rendimiento de semilla en riego. El (IIS) índice de intensidad de la sequía $IIS = I - (XS/XR)$ se calculó también, XS es el rendimiento promedio en condiciones de sequía y XR es el rendimiento promedio en riego (Fischer y Maurer, 1978).

Resultados y discusión

La precipitación durante el ciclo de cultivo 2010 en la Estación Experimental en Bachiniva, Chihuahua, fue de 351 mm como puede observarse en la Figura 1, considerándose como un año bueno, para producir frijol de temporal. En 2011 llovieron tan solo 246 mm con una severa sequía intraestival de 24 días considerándose como un año regular para producir frijol de temporal (Ávila *et al.*, 2009).

Intensity of drought

The drought susceptibility Index (DSI) was calculated for seed yield in two contrasting environments of irrigation and drought. $DSI = [I - (Y/Y_p)/I - (X/X_p)]$, where Y is seed yield; Y_p is seed yield under irrigation; X is the average seed yield in drought; and X_p is seed yield under irrigation. The drought intensity index (DII) was calculated too. $DII = I - (XS/XR)$, where XS is the average yield under drought conditions and XR is the average yield under irrigation (Fischer and Maurer, 1978).

Results and discussion

Rainfall during the growing season of 2010 at the Experimental Station in Bachiniva, Chihuahua, was 351 mm, as shown in Figure 1; this was considered as a good year for the production of rainfed beans. In 2011, rainfall was only 246 mm with a severe intraestival drought of 24 days; this was considered as a regular year for the production of rainfed beans (Ávila *et al.*, 2009).

Drought intensity

In 2010, the drought treatment showed a reduction in the yield of all genotypes compared to the irrigation treatment; the reduction of drought intensity is represented by the value of $DII = 0.27$. This tension is comparable with that of previous experiments with beans under rainfed conditions in the highlands of Mexico ($DII = 0.49$, Schneider *et al.*, 1997; 0.48, Rosales-Serna, *et al.*, 2004), but it was lower than the tension reported in Michigan ($DII = 0.63$, Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). The Rosa La Bufa variety stood out in 2010 for presenting the lowest DSI value (-0.63), being the most drought-tolerant variety.

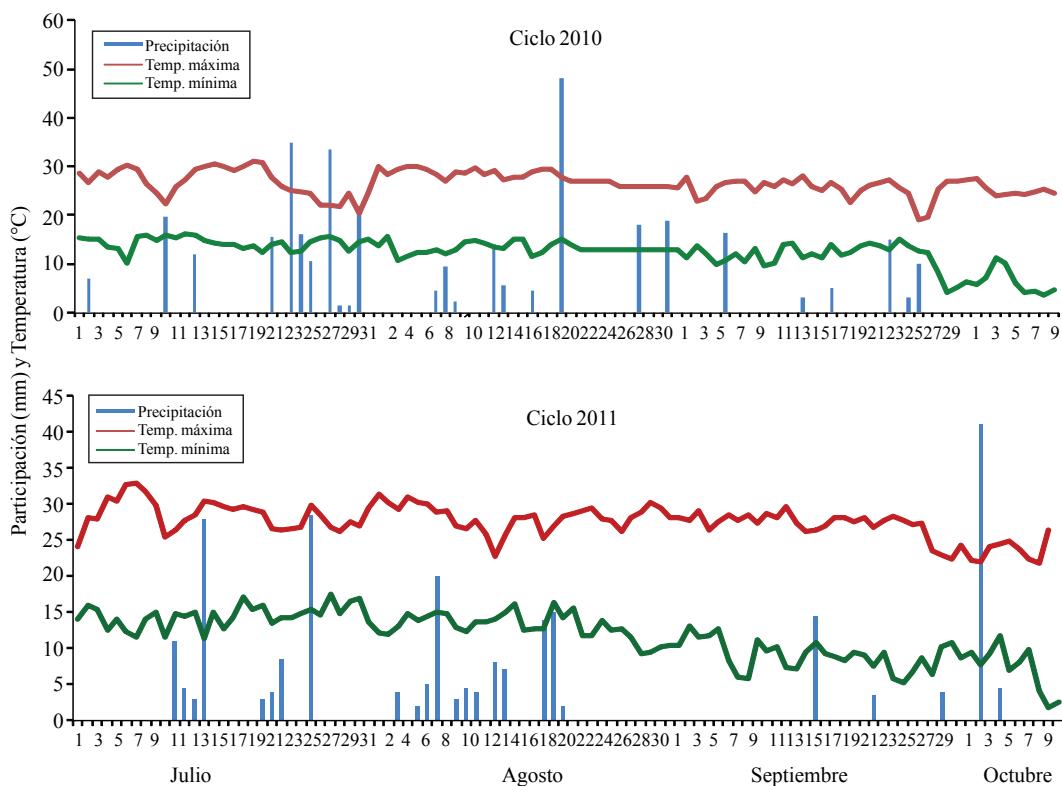


Figura 1. Precipitación y temperatura máxima y mínima en el Campo Experimental Bachiniva, Chihuahua, México. Ciclos primavera-verano 2010 y 2011.

Figure 1. Precipitation and maximum and minimum temperature in the Experimental Field Bachiniva, Chihuahua, Mexico. Spring-summer cycles of 2010 and 2011.

La intensidad de sequía

En 2010 el tratamiento de la sequía mostró una reducción en el rendimiento de todos los genotipos en comparación con el tratamiento de riego, la reducción de la intensidad de la sequía representada por el valor $IIS = 0.27$. Esta tensión es comparable con los experimentos anteriores realizados con frijoles en condiciones de secano en las tierras altas de México ($IIS = 0.49$, Schneider *et al.*, 1997; 0.48, Rosales-Serna *et al.*, 2004), pero fue menor a la reportada en Michigan ($IIS = 0.63$, Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). De acuerdo al ISS destaca Rosa La Bufa en 2010 presentando el menor valor de -0.63, siendo el más tolerante a sequía.

Rosa La Bufa presentó el más alto rendimiento promedio y el menor valor de ISS siendo un genotipo sobresaliente para tolerancia a sequía ya que generalmente según Rosales-Serna *et al.* (2000) y López *et al.* (2005) los genotipos con valores bajos de ISS presentan bajos rendimientos pero aun así el ISS es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que reduzcan menos su rendimiento en condiciones de estrés hídrico.

Rosa La Bufa presented the highest average yield and the lowest DSi value, being a genotype outstanding for its drought tolerance. Rosales-Serna *et al.* (2000) and López *et al.* (2005) state that genotypes with low DSi values have low yields, but DSi is still an acceptable criterion to select genotypes with a smaller yield decrease under water stress conditions.

In 2011, the drought treatment showed a reduction in the yield of all genotypes compared to the irrigation treatment; the reduction of drought intensity is represented by the DII value of 0.73. This tension is higher, comparable with previous experiments with beans under rainfed conditions in the highlands of Mexico (DII= 0.49, Schneider *et al.*, 1997; 0.48, Rosales-Serna *et al.*, 2004), but was similar to that reported in Michigan (DII= 0.63, Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). In 2011, the lowest DSi value was presented by Brown Tepary (0.34) and Rosa La Bufa (0.40), these varieties being the most tolerant to drought; Markhart (1985) and Micheletto *et al.* (2007) found similar resistance results in *Phaseolus acutifolius*.

En 2011 el tratamiento de la sequía mostró una reducción en el rendimiento de todos los genotipos en comparación con el tratamiento de riego, la reducción de la intensidad de la sequía representada por el valor IIS= 0.73. Esta tensión es mayor comparable con los experimentos anteriores realizados con frijoles en condiciones de secano en las tierras altas de México (IIS= 0.49, Schneider *et al.*, 1997; 0.48, Rosales-Serna *et al.*, 2004), pero fue similar a la reportada en Michigan (IIS= 0.63, Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). En 2011 el menor valor para ISS lo presentaron tépari Café con 0.34 y Rosa La Bufa con 0.40, siendo los más tolerantes a sequía, resultados similares de resistencia en *Phaseolus acutifolius* encontraron Markhart (1985); Micheletto *et al.* (2007).

Cuadro 2. Índice de intensidad de la sequía e índice de susceptibilidad a la sequía.

Table 2. Drought intensity index and drought susceptibility index.

Variedad	2010		2011	
	IIS	ISS	IIS	ISS
Tépari RS	0.27	-0.49	0.73	0.47
Pinto Saltillo	0.27	-0.43	0.73	0.49
Rosa La Bufa	0.27	-0.63	0.73	0.40
Pinto Villa	0.27	-0.55	0.73	0.61
Tépari Café	0.27	-0.21	0.73	0.34
Azufrado Higuera	0.27	-0.47	0.73	0.47
Tépari Pinto	0.27	-0.55	0.73	0.48

IIS= índice de intensidad de la sequía; ISS= índice de susceptibilidad a la sequía.

Rendimiento de grano

Los genotipos a prueba respondieron a la sequía en varias formas y el grado de expresión varió entre cultivares. En general, los genotipos mostraron una tendencia a escapar de los efectos de la sequía a través de un desarrollo más rápido en respuesta al estrés. Efectos similares de la sequía sobre la fenología de plantas han sido previamente observadas (Acosta-Gallegos y Kohashi Shibata, 1989; Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). Por lo tanto, la adecuación de la fenología del cultivo a las condiciones ambientales, principalmente de las precipitaciones, ha sido reconocida como un criterio importante para mejorar la adaptación a la sequía en frijol común (Acosta-Gallegos y Adams, 1991; Acosta Gallegos y White, 1995; Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998; Rosales-Serna *et al.*, 2000; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Rosales-Serna *et al.*, 2004).

En 2010 se observaron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) entre genotipos y entre nivel de humedad para el rendimiento; En riego destaca tépari Café con 2 237 kg ha⁻¹,

Grain yield

The tested genotypes responded to drought in various forms, and the degree of expression varied between cultivars. In general, the genotypes showed a tendency to escape the effects of drought through faster development in response to stress. Similar effects of drought on plant phenology have been previously observed (Acosta-Gallegos and Kohashi Shibata, 1989; Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). Thereby, the adequacy of crop phenology to environmental conditions, particularly rainfall, has been recognized as an important criterion for improving adaptation to drought in common beans (Acosta-Gallegos and Adams, 1991; Acosta-Gallegos and White, 1995; Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998; Rosales-Serna *et al.*, 2000; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Rosales-Serna *et al.*, 2004).

In 2010 there were highly significant differences ($p<0.01$) between genotypes with respect to moisture level for yield; Brown Tepary stood out under irrigation with 2 237 kg ha⁻¹; also Pinto Saltillo with 1691 kg ha⁻¹ and Rosa La Bufa with 1 641 kg ha⁻¹. In drought, Rosa La Bufa achieved 1 484 kg ha⁻¹, Pinto Villa 1 201 kg ha⁻¹ and Pinto Saltillo 1 192 kg ha⁻¹; Acosta-Díaz *et al.* (2004), Ghassemi and Marfar (2008), Acosta-Díaz *et al.* (2009), Kavar *et al.* (2011) and Fouad *et al.* (2002) found similar results of drought resistance. With respect to average yield under irrigation and drought, Rosa La Bufa stood out with 1 562 kg ha⁻¹, a yield 8.3% higher than Pinto Saltillo; Pinto Villa also showed a high yield with 1 328 kg ha⁻¹. When the increase percentage of yield under irrigation with respect to drought is analyzed, Rosa La Bufa stands out with 10.5%, also Tepary Pinto with 20.8% and Pinto Villa with 21.06% (Table 3).

Similar yield results for Pinto Saltillo under rainfed conditions were reported by Sánchez *et al.* (2001). Similar yields for Tepary beans have been previously reported by Nahban and Felger (1978); CIAT (1979); Nahban and Teiwes (1983); Pratt and Nahban (1988); Debouck (2011).

When the increase percentage of yield under irrigation with respect to drought is analyzed, Brown Tepary stands out with 152.5% and Rosa La Bufa with 198.4% (Table 4); similar drought resistance results for Tepary and common bean have been found by Lopez *et al.* (2005), Rodríguez and O'Connell (2006), Ghassemi and Marfar (2008), Acosta-Díaz *et al.* (2004), Acosta-Díaz *et al.* (2009), Kavar *et al.* (2011), and Fouad *et al.* (2002). Similar yield results under rainfed conditions were reported for Pinto Saltillo by Sánchez *et al.* (2001).

Pinto Saltillo con 1 691 kg ha⁻¹ y Rosa La Bufa con 1 641 kg ha⁻¹. En sequía destaca Rosa La Bufa con 1 484 kg ha⁻¹, Pinto Villa con 1 201 kg ha⁻¹ y Pinto Saltillo con 1 192 kg ha⁻¹, resultados similares de resistencia a sequía encontraron Acosta-Díaz *et al.* (2004); Ghassemi and Marfar (2008); Acosta-Díaz *et al.* (2009); Kavar *et al.* (2011) y Fouad *et al.* (2002). En promedio de rendimiento de riego y sequía destaca Rosa La Bufa con 1 562 kg ha⁻¹, 8.3 % más rendimiento que Pinto Saltillo; también fue de alto rendimiento Pinto Villa con 1 328 kg ha⁻¹. Al analizar el porcentaje de incremento del rendimiento en riego con respecto a sequía se destaca Rosa La Bufa con 10.5%, tépari Pinto con 20.8% y Pinto Villa con 21.06% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento de genotipos con el método riego sequía ciclo P-V 2010. Duncan= 0.05.

Table 3. Estimation of the yield of bean genotypes with the irrigation-drought method, cycle Spring-summer, 2010. Duncan= 0.05.

Variedad	Semillas sembradas promedio (pl m ⁻¹)	Plantas cosechadas promedio (pl m ⁻¹) R ² =0.93	Rendimiento sequia (kg ha ⁻¹)	Rendimiento riego (kg ha ⁻¹)	Por ciento de incremento respecto a sequía	Rendimiento promedio (kg ha ⁻¹) R ² =0.88
Tépari RS	12	7.73 a	701	913	30.2	807 c
Pinto Saltillo	12	8.41 a	1192	1691	41.8	1442 a
Rosa La Bufa	12	8.63 a	1484	1641	10.5	1562 a
Pinto Villa	12	8.00 a	1201	1454	21.06	1328 ab
Tépari Café	12	7.60 a	1070	2237	109.06	1154 b
Azufrado Higuera	12	1.30 b	144	195	35.4	170 d
Tépari Pinto	12	7.68 a	963	1164	20.8	1063 bc
Media	-	7.05	-	-	-	1075.4
DMS	-	7.1	-	-	-	264.6
CV (%)	-	11.5	-	-	-	21.1

Resultados similares de rendimiento para Pinto Saltillo bajo condiciones de temporal fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001). Rendimientos similares para frijol tépari han sido previamente reportados Nahbany Felger (1978); CIAT (1979); Nahbany Teiwes (1983); Pratty Nahbany (1988); Debouck (2011).

Al analizar el porcentaje de incremento del rendimiento en riego con respecto a sequía se destaca tépari Café con 152.5% y Rosa La Bufa con 198.4% (Cuadro 4) opiniones similares de la característica de resistencia a sequía de tépari y frijol común han encontrado López *et al.* (2005); Rodríguez and O'Connell (2006); Ghassemi and Marfar (2008); Acosta-Díaz *et al.* (2004); Acosta-Díaz *et al.* (2009); Kavar *et al.* (2011) y Fouad *et al.* (2002). Resultados similares de rendimiento para Pinto Saltillo bajo condiciones de temporal fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001).

Similar yield results for Tepary bean have been previously reported by CIAT (1979), Nahban and Felger (1978), Nahban and Teiwes (1983), Pratt and Nahban (1988), and Debouck (2011). Azufrado Higuera presented high mortality of plants and therefore very low yields of only 144 and 195 kg ha⁻¹ under drought and irrigation respectively.

Days to flowering

In 2010 and 2011, all genotypes studied were more precocious than Pinto Saltillo with respect to days to flowering, especially Rosa La Bufa and Brown Tepary. Similar

days to flowering were reported by Sánchez *et al.* (2001) for Pinto Saltillo. A similar number of days to flowering was reported by CIAT (1979) and Debouck (2011) for Tepary beans.

Days to physiological maturity

In general, in 2010 and 2011 all the genotypes studied were more precocious than Pinto Saltillo with respect to days to maturity except Azufrado Higuera and Pinto Villa. Tepary and Rosa La Bufa beans stood out for their precociousness. Similar days to maturing were reported by Sánchez *et al.* (2001) for Pinto Saltillo. A similar number of days to flowering was reported by CIAT (1979) and Debouck (2011) for Tepary beans.

Cuadro 4. Rendimiento de genotipos con el método riego sequía ciclo primavera- verano, 2011. Duncan= 0.05.**Table 4. Estimation of the yield of bean genotypes with the irrigation-drought method, spring-summer cycle 2011. Duncan= 0.05.**

Variedad	Semillas sembradas promedio (pl m ⁻¹)	Plantas cosechadas promedio (pl 5 m ⁻¹). R ² =0.80	Rendimiento sequía (kg ha ⁻¹)	Rendimiento riego (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de incremento respecto a sequía	Rendimiento promedio (kg ha ⁻¹). R ² = 0.90
Tépari RS	12	7.36 b	134	499	272.3	317.10 a
Pinto Saltillo	12	8.86 a	145	585	303.4	365.32 a
Rosa La Bufa	12	8.86 a	199	594	198.4	397.02 a
Pinto Villa	12	8.66 a	72	596	727.7	334.65 a
Tépari Café	12	7.40 b	156	394	152.5	275.40 a
Azufrado Higuera	12	4.80 c	129	487	277.5	127.27 b
Tépari Pinto	12	6.90 b	52	201	286.5	308.08 a
Media	-	7.54	-	-	-	303.5
DMS	-	11.3	-	-	-	170.6
CV (%)	-	13.1	-	-	-	30.3

Rendimientos similares para frijol tépari han sido previamente reportados CIAT (1979); Nahban y Felger (1978); Nahban y Teiwes (1983); Pratt y Nahban (1988); Debouck (2011). Azufrado Higuera presentó muy alta mortalidad de plantas y por lo tanto muy bajos rendimientos de apenas 144 y 195 kg ha⁻¹ en sequía y riego respectivamente.

Días a floración

En 2010 y 2011 todos los genotipos estudiados fueron más precoces que Pinto Saltillo para días a floración, destacando Rosa La Bufa y Tépari Café. Similares días a floración fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001) para Pinto Saltillo. Similar número de días a floración de los frijoles tépari es fueron reportados por CIAT (1979) y Debouck (2011).

Días a madurez fisiológica

En general en 2010 y 2011 todos los genotipos estudiados fueron más precoces que Pinto Saltillo para días a madurez excepto Azufrado Higuera y Pinto Villa. Destacan por su precocidad los frijoles téparis y Rosa La Bufa. Similares días a madurez fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001) para Pinto Saltillo. Similar número de días a floración de los frijoles téparis fueron reportados por CIAT (1979) y Debouck (2011).

Cuadro 5. Días a floración de siete variedades de frijol bajo dos niveles de humedad durante el periodo reproductivo, Bachiniva, Chihuahua, México. 2010 y 2011. Duncan= 0.05.**Table 5. Days to flowering of seven bean varieties under two moisture levels during the reproductive period, Bachiniva, Chihuahua, Mexico. 2010 and 2011. Duncan= 0.05.**

Variedad	Ciclo P-V 2010 R ² = 0.87			Ciclo P-V 2011 R ² = 0.86		
	Floración (días)		Floración (días)			
	Sequía	Riego	Media	Sequía	Riego	Media
Tépari RS	51.6	51.3	51.5 c	42.0	42.0	42.0 b
Pinto	52.6	54.0	53.3 a	43.3	43.3	43.3 a
Saltillo						
Rosa La	51.0	51.0	51.0 c	40.0	40.0	40.0 c
Bufa						
Pinto Villa	52.0	52.3	52.1 b	42.0	42.0	42.0 b
Tépari	51.0	51.6	51.3 c	40.0	40.0	40.0 c
Café						
Azufrado	52.0	52.0	52.0 b	42.6	42.6	42.6 ab
Higuera						
Tépari	51.3	51.3	51.3 c	42.0	42.0	42.0 b
Pinto						
Media	-	-	51.8	-	-	41.7
DMS	-	-	1.4	-	-	0.7
CV (%)	-	-	0.8	-	-	1.5

Conclusiones

Las variedades estudiadas mostraron una tendencia a escapar de los efectos de la sequía a través de un desarrollo más rápido, sobre todo, reducir el número de días madurez.

En ambos ciclos de producción se destaca Rosa La Bufa con valores menores de ISS y los mayores rendimientos promedio de rendimiento de grano por hectárea.

Tépari Café resultó contrastante en cuanto a estabilidad del rendimiento siendo mucho más estable en un ciclo con mayor sequia como lo fue 2011.

Literatura citada

- Ávila, M. M. R.; González, R. H.; Rosales, S. R.; Zandate, H. R.; Pajarito, R. A. y Espinoza, A. J. 2009. Diagnóstico y adopción de la variedad de frijol Pinto Saltillo en la Región temporalera del norte de México. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Folleto científico Núm. 12. 23 p.
- Acosta-Díaz, E.; Trejo-López, C.; Ruiz-Posadas, L. M.; Padilla-Ramírez, J. S. y Acosta-Gallegos, J. A. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. Terra Latinoamericana 22(1):49-58.
- Acosta-Díaz, E.; Acosta-Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Padilla-Ramírez, J. S. and Amador-Ramírez, M. D. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. Agric. Téc. Méx. 35 (4):416-425.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Kohashi-Shibata, J. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. Field Crop Res. 20:81-93.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Adams, M. W. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. J. Agric. Sci. 117:213-219.
- Acosta-Gallegos, J. A. and White, J. W. 1995. Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. Crop Sci. 35:199-204.
- Acosta, G. J. A.; González, R. H.; Torres, E. C. A.; Cuellar, R. I.; Acosta, D. E.; López, S. E.; Pérez, S. R. A.; Ibarra, P. F. J. y Rosales, S. R. 2004. Impacto de la genotecnología en el cultivo de frijol en México. In: Preciado, O. R. E. y Ríos, S. A. (Eds.). Simposium Aportaciones de la genotecnología a la Agricultura. Soc. Mex. de Fitogenética, Toluca, Estado de México. 36-57 pp.
- Bray, E. A. 2002. Classification of genes differentially expressed during water deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. Ann. Bot. 89:803-811.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1979. In: potential productivity of field crops under different environments. 1983. International Rice Research Institute. Los Baños Laguna Philippines. 526 p.
- Debouck, D. G. 2011. Frijoles (*Phaseolus* spp.) In: la agricultura en Mesoamerica. FAO. 2011. URL: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro09/index.html>.

Cuadro 6. Madurez fisiológica de siete variedades de frijol bajo dos niveles de humedad durante el periodo reproductivo, Bachiniva, Chihuahua, México. 2010 y 2011. Duncan= 0.05.

Table 6. Physiological maturity of seven bean varieties under two moisture levels during the reproductive period, Bachiniva, Chihuahua, Mexico. 2010 and 2011. Duncan= 0.05.

Variedad	Ciclo P-V 2010			Ciclo P-V 2011				
	$R^2=0.98$			$R^2=0.99$				
	Madurez fisiológica (días)	Madurez fisiológica (días)	Sequía	Riego	Media	Sequía	Riego	Media
Tépari RS	73	73	73 d	73.0	74.6	73.8 e		
Pinto Saltillo	90	90	90 a	84.6	83.6	84.1 b		
Rosa La	80	80	80 c	73.0	73.0	73.0 f		
Bufa								
Pinto Villa	84	84	84 b	83.0	83.0	83.0 c		
Tépari Café	73	73	73 d	73.0	73.0	73.0 f		
Azufrado	90	90	90 a	87.0	87.0	87.0 a		
Higuera								
Tépari Pinto	75	73	74 d	73.0	76.6	74.8 d		
Media	-	-	80.5	-	-	78.4		
DMS	-	-	1.4	-	-	0.73		
CV (%)	-	-	1.3	-	-	0.70		

Conclusions

The varieties studied showed a tendency to escape the effects of drought through faster development, in particular by reducing the number of days to maturity.

In both production cycles, Rosa La Bufa stood out with lower DSF values and the highest average grain yields per hectare.

Brown Tepary showed contrasting results with respect to yield stability, being much more stable performance in a cycle with a more severe drought as was the case in 2011.

End of the English version



Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Aust. J. Agric. Res. 29:807-912.

Fouad, M. M.; Keutgen, N.; Tawfika, A. A. and Noga, G. 2002. Dehydration-avoidance responses of tepary bean lines differing in drought resistance. J. Plant Physiol. 159: 31-38.

- Ghassemi-Golezani, K. and Mardfer, R. A. 2008. Effects of limited irrigation on growth and grain yield of common bean. *J. Plant Sci.* 3(3):230-235.
- Jiménez-Galindo, J. C.; Valadéz-Moctezuma, E. y Marbán-Mendoza, N. 2010. Evaluación y caracterización de *Phaseolus* spp. como fuente de resistencia a *Fusarium oxysporum* f sp. *phaseoli* (*Fop*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(2):99-105.
- Kavar, T.; Maras, M.; KIDRIČ, M.; Sustar-Vozlic, J. and Meglic, V. 2011. The expression profiles of selected genes in different bean species (*Phaseolus* spp.) as response to water deficit. *J. Central European Agric.* 12(4):557-576.
- Laing, D. R.; Jones, P. G. and Davis, H. C. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris*), In: Goldsworthy, P. and Fisher, R. M. (Eds.). *The physiology of tropical field crops*. John Wiley and Sons, NY. 305-35 pp.
- Lazcano-Ferrat, I. and Lovatt, C. J. 1999. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. *Crop Sci.* 39:467-475.
- Lépez I. R. 2000. Simposio: contribución de la fitopatología al mejoramiento de los cultivos agrícolas. El caso del frijol. *Rev. Mex. Fitopatol.* 17:54-72.
- Lizana, C.; Wentworth, M.; Martínez, J. P.; Villegas, D.; Meneses, R.; Murchie, E. H.; Pastenes, C.; Lerzri, B.; Vernieri, P. and Horton, P. M. 2006. Pinto, differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis, *J. Exp. Bot.* 57:685-697.
- López, S. J. L.; Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. A. y Lépez I. R. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3):221-230.
- Maggio, A.; Zhu, J.-K.; Hasegawa, P. M. and Bressan, R. A. 2006. Osmogenetics: aristotle to arabidopsis. *Plant Cell* 18:1542-1557.
- Markhart, A. H. 1985. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiol.* 77:113-117.
- Micheletto, S.; Rodríguez-Uribe, R.; Hernández, R.; Richard, D.; Richins, P.; Curry, J. and O'Connell, P. 2007. Comparative transcript profiling in roots of *Phaseolus acutifolius* and *P. vulgaris* under water deficit stress. *Plant Sci.* 173:510-520.
- Muñoz-Perea, C. G.; Terán, H.; Allen, R. G.; Wright, J. L.; Westermann, D. T. and Singh, S. P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46:2111-2120.
- Nabhan, G. P. and Felger, R. S. 1978. Terapies in southwestern North America. A biogeographical and ethnohistorical study of *Phaseolus acutifolius*. *Econ. Bot.* 32(1):22-19.
- Nabhan, G. P. and Teiwes, H. 1983. Tepary beans, O'odham farmers, and desert fields. *Desert Plants*, 5(1):15-37.
- O'Connell, M. A. 1995. The role of drought-responsive genes in drought resistance, *Ag. Biotechnol. News Inform.* 7:143N-147N.
- Pratt, R. C. 1983. Gene transfer between tepary and common beans. *Desert Plants* 5:57-63.
- Pratt, R. C. and Nabhan, G. P. 1988. Evolution and diversity of *Phaseolus acutifolius* genetic resources. In: *Genetic resources of Phaseolus beans*. Gepts, Pl, Ed. Dordrecht. Países Bajos. Kluwer Academic Publishers. 409-440 pp.
- Ramírez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99:127-136.
- Rodríguez-Uribe, L. and O'Connell, M. A. 2006. A root-specific bZIP transcription factor is responsive to water deficit stress in tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) and common bean (*P. vulgaris*), *J. Exp. Bot.* 57(6): 1391-1398.
- Rosales-Serna, R.; Kohashi-Shibata, J.; Acosta-Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Ortiz-Cereceres, J.; Castillo, G. F. y Kelly, J. D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia*. 34:153-165.
- Rosales-Serna, R.; Kohashi-Shibata, J; Acosta- Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Ortiz-Cereceres, J. and Kelly, J. D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Res.* 85:203-211.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). D. F., México. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Salinas, P. R. A.; Navarro, S. F. J. y Rodríguez, C. F. G. 1995. Azufrado Noroeste y Azufrado Higuera Nuevas variedades de frijol para Sinaloa. INIFAP CIRNO- CEVAF. Folleto técnico Núm. 11. Noviembre de 1995.
- Sánchez, V. I.; Ibarra, P. F. J.; Rosales, S. R.; Singh, S. P. y Acosta G. J. A. 2001. Pinto Saltillo: nueva variedad de frijol para el altiplano de México. *Rev. Mex. Cien. Agric.* 27(1):73-75.
- Sánchez, V. I.; Acosta, G. J. A.; Ibarra, F. J.; Rosales, S. R. and S. P. Singh. 2004. Registration of 'Pinto Saltillo' common bean. *Crop Sci.* 44:1865-1866.
- Schneider, K. A.; Rosales-Serna, R.; Ibarra-Pérez, F.; Cazares-Enríquez, B.; Acosta-Gallegos, J. A.; Ramírez-Vallejo, P.; Wassimi, N. and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci.* 37:43-50.
- Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K. 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance, *J. Exp. Bot.* 58 (2):221-227.
- Staub, J. E.; Serquen, F. C.; Gupta, M. 1996. Genetic markers, map construction, and their application in plant breeding. *HortScience* 31(5):729-741.
- Thomas, C. V. and Waines, J. 1984. Fertile backcross and allotetraploid plants from crosses between tépari beans and common beans. *J. Hered.* 75:93-98.
- Trejo-Calzada, R. and O'Connell, M. A. 2005. Genetic diversity of drought-responsive genes in populations of the desert forage *Dactylis glomerata*. *Plant Sci.* 168:1327-1335.
- Torres, G. A. M.; Pflieger, S.; Corre-Menguy, F.; Mazubert, C.; Hartmann, C.; and Lelandis-Brie're, C. 2006. Identification of novel drought-related mRNAs in common bean roots by differential display RT-PCR, *Plant Sci.* 171:300-307.
- Turkan, I.; Bor, M.; zdemir, F. O' and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Sci.* 168:223-231.
- Van Bruggen, A. H. C.; Whalen, C. H. and Arneson, P. A. 1986. Emergence, growth, and development of dry bean seedlings in response to temperature, soil moisture, and *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 76:568-572.
- Van Schoonhoven, A. y Voyset, O. 1989. Common bean in Latin America and their constraints. In: Schwartz, H. F. y Pastor-Corrales, M. A. (eds.). *Bean Production problems in tropics*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 33-57 pp.
- Verslues, P. E.; Katiyar-Agarwal, S.; Zhu, J.; and Zhu, J.-K. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant J.* 45:523-539.

Comparación de dos tipos de selección en poblaciones de maíces criollos*

Comparison of two types of selection in populations of native corn

Gilberto Rodríguez Pérez^{1§}, Francisco Zavala García², Adriana Gutiérrez Diez², José Elías Treviño Ramírez², Carmen Ojeda Zacarías² y Alfredo de la Rosa Loera³

¹Campo Experimental Bajío. INIFAP. Celaya-San Miguel de Allende, km. 6.5. C. P. 38110 A. P. 112. Celaya, Guanajuato, México. ²Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Área de Estudios de Posgrado, carretera Zuazua-Marín km 17.5, Marín N.L, México. Tel. y Fax (81) 83294000 ext. 351. fraicisco.zavala.garcia@gmail.com, mcgudiez@hotmail.com, eliatrevino_ramirez@hotmail.com, ojeda.cz@yahoo.com, adelarosa62@hotmail.com. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Departamento de Fitomejoramiento. Tel. (844) 4110000, ext. 298. §Autor para correspondencia: grodriguez263@hotmail.com.

Resumen

Los objetivos fueron estimar en dos poblaciones criollas de maíz índices de selección de caracteres agronómicos que permitan identificar familias superiores en rendimiento y comparar dos eficiencias relativas de la respuesta predicha esperada. Se evaluaron bajo riego 169 familias de hermanos completos de las subpoblaciones "10" y "37" 'de Liebre' en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la UANL. El diseño experimental fue un latice 13 x 13; las variables determinadas fueron rendimiento de grano, altura de planta, altura de mazorca, floración femenina, floración masculina, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y número de hileras por mazorca. Se obtuvo mayor ganancia genética al combinar cuatro caracteres correlacionados con el rendimiento. Los índices de selección más eficientes fueron los que tomaron en cuenta días a floración masculina, altura de planta y mazorca, longitud y diámetro de mazorca; así como rendimiento de grano.

Palabras clave: correlación genética, correlación fenotípica, maíz, rendimiento de grano y eficiencia relativa.

Abstract

The aims of this study were to estimate, in two native corn populations, selection indexes of agronomic characters that allow to identify corn families superior in yield and to compare two relative efficiencies of the predicted response expected. We evaluated 169 full-sib corn families under irrigation of the "Liebre" subpopulations number "10" and "37", in the experimental field of the Faculty of Agronomy of the UANL. The experimental design was a 13 x 13 lattice; the determined variables were grain yield, plant height, cob height, days to male and female flowering, cob length, cob diameter and number of rows per cob. Greater genetic gain was obtained by combining four characters correlated with yield. The most efficient selection indexes were those which considered the days to male flowering, plant height, cob height, cob length, cob diameter, and grain yield.

Key words: corn, genetic correlation, grain yield, phenotypic correlation, relative efficiency.

* Recibido: mayo de 2012
Aceptado: febrero de 2013

Introducción

En maíz, es importante utilizar una metodología para determinar que caracteres deben incluirse en la selección simultánea, a fin de mejorar la producción (Milligan *et al.*, 2003). Por lo general las características utilizadas en un índice de selección deben ser de mayor heredabilidad que el rendimiento per se y estar significativamente correlacionadas con este.

El conocimiento entre las interrelaciones entre el rendimiento y los caracteres considerados como componentes de rendimiento podría mejorar la eficiencia de los programas de mejoramiento a través del uso apropiado de índices de selección (Mohammadi *et al.*, 2003).

Actualmente se requiere en el mejoramiento del maíz una metodología para determinar que caracteres deben incluirse en la selección simultánea a fin de mejorar la producción de grano. En este trabajo se presenta una estrategia que permite al mejorador considerar simultáneamente la expresión de varios caracteres en los procesos de selección por medio de índices de selección.

Debido a la escasez de semilla mejorada y falta de híbridos locales en la región Noreste de México surge la necesidad de identificar y desarrollar genotipos con mayor adaptación y rendimiento, lo cual puede beneficiar directamente la economía de los agricultores y el abasto de semilla; por ello, se realizó el presente trabajo con el siguiente objetivo: estimar eficiencias relativas con dos índices de selección de caracteres agronómicos que ayuden a identificar familias superiores utilizadas en la producción de grano.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, Campus Marín, ubicado carretera Zuazua-Marín km 17.5 en el Municipio de Marín, Nuevo León, con una elevación de 375 msnm y por su situación geográfica corresponde a las coordenadas 25° 53' latitud norte y 100° 03' latitud oeste, con una temperatura promedio anual sobre 22 °C y una precipitación anual promedio de 573 mm, García (1973).

Introduction

In order to improve the production of corn, it is important to use a methodology to determine which characters should be included in simultaneous selection (Milligan *et al.* 2003). Usually the characters used in a selection index should have greater heritability than yield per se and be significantly correlated with it.

Knowledge of the interrelationships between yield and the characters considered as components of yield could improve the efficiency of breeding programs through the appropriate use of selection indexes (Mohammadi *et al.*, 2003).

Nowadays, corn improvement requires a methodology to determine which characters should be included in simultaneous selection in order to improve the production of grain. In this paper we present a strategy that allows the breeder to consider simultaneously the expression of several characters in the selection processes by means of selection indexes.

Because of the scarcity of improved seeds and the lack of local hybrids in the Northeast region of Mexico, there is a need to identify and develop genotypes with better adaptability and yield, which can directly benefit the economy of farmers and the seed supply; hence, this study was conducted with the following objective: to estimate relative efficiencies with two selection indexes of agronomic characters that help identify superior families used in the production of corn grains.

Materials and methods

This work was conducted in the experimental field of the Faculty of Agriculture, Campus Marín, on the 17.5 km of the Zuazua-Marín highway, in the municipality of Marín, Nuevo León, at 25° 53' N and 100° 03' W and 375 masl, with an average temperature of 22 °C and an average annual rainfall of 573 mm, García (1983).

In the spring cycle 2010, two subpopulations were planted in isolated plots; the plots comprised 26 furrows of 10 meters long with a distance between furrows of 0.80 m. The

En el ciclo primavera 2010 se sembraron dos subpoblaciones en lotes aislados; las parcelas fueron constituidas de 26 surcos de 10 metros de largo con una distancia entre surcos de 0.80 m. La siembra se realizó el día 12 de marzo de 2010, en cada lote se realizaron 200 cruzas planta a planta identificando previamente en la bolsa de cada surco cada una de las cruzas utilizando el método de selección familiar de hermanos completos (Compton y Costock, 1976), se realizó una selección visual de plantas con características agronómicas deseables, en la cosecha y desgrane se obtuvieron 169 familias de las subpoblaciones denominadas Liebre, la "10" proveniente al ejido de Santa María del municipio de Pesquería y la "37" de la localidad de el Refugio del municipio de Los Ramones Nuevo León.

La evaluación de las familias fue en otoño 2010; para ello, se estableció un ensayo de rendimiento con las 169 familias de hermanos completos bajo un látice triple 13x13. La unidad experimental consistió de un surco de 5 m de longitud por familia con 25 semillas espaciadas a 20 cm a una distancia entre surcos de 0.80 m. para una densidad de 50 000 plantas por ha. La siembra se realizó en el 19 de agosto, seleccionando 17 familias de ambas poblaciones con 10% de presión de selección.

En el ciclo agrícola primavera 2011, se realizó la recombinación con las mejores familias seleccionadas de las dos poblaciones, se formó un compuesto balanceado (mezcla mecánica de una misma cantidad de semillas de cada familia seleccionada) de las 17 mejores familias seleccionadas en ambas poblaciones con 340 gramos en total, considerando 20 gramos por familia seleccionada. La fecha de siembra fue el 04 de marzo, con la finalidad de cosechar semilla que integrará una población que se espera que sea superior a la población original, esto es que haya avance por selección.

Los índices se construyeron con base a la metodología propuesta por Barreto *et al.* (1991), la estimación se realizó para cada una de las repeticiones, la fórmula empleada para estimar el índice fue la siguiente:

$$IS = \{[(Y_j - M_j)^2 * I_j] + [(Y_i - M_i)^2 * I_i] + \dots + [(Y_n - M_n)^2 * I_n]\}^{1/2}$$

Donde: IS = Índice de selección; $Y_{j...n}$ = variable en unidades Z; $M_{j...n}$ = meta de selección; $I_{j...n}$ = intensidad de selección.

La meta de selección asignada a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar del promedio que se desea lograr en la selección. La meta toma valores de -3.0 a +3,

sowing was done on March 12; 200 crosses were carried out in each plot after identifying each the crosses in the bags for each furrow, using the full-sib family selection method (Compton and Costock, 1976). We performed a visual selection of plants with desirable agronomic characteristics; 169 families of the subpopulations called "Liebre" were obtained in harvesting and threshing; number "10" from the suburbs of Santa María of the municipality of "Pesquería" and number "37" from the town of Refugio in the municipality of Los Ramones, Nuevo León.

The evaluation of the families was done in the autumn of 2010; for this purpose we established a performance assay with the 169 full-sib families under a 13x13 triple lattice. The experimental unit consisted of a furrow of 5 m in length per family with 25 seeds spaced at 20 cm, with a distance between furrows of 0.80 m for a density of 50 000 plants per hectare. The sowing was done on August 19, selecting 17 families from both populations with a selection pressure of 10%.

In the agricultural cycle of the spring of 2011, a recombination was performed with the best families selected from the two populations. A balanced compound was formed (a mechanical mixture of equal amounts of seeds from each family selected) of the 17 best families selected in both populations, of 340 grams in total, with 20 grams per family selected. The planting date was March 04, in order to harvest the seeds that would integrate a population that is expected to be superior to the original population, which means that there would be advancement by selection.

The indexes were constructed based on the methodology proposed by Barreto *et al.* (1991); an estimate was made for each of the replicates. The formula used to estimate the index was as follows:

$$IS = \{[(Y_j - M_j)^2 * I_j] + [(Y_i - M_i)^2 * I_i] + \dots + [(Y_n - M_n)^2 * I_n]\}^{1/2}$$

Where: IS=Selection Index; $Y_{j...n}$ = Variable in Z units; Z; $M_{j...n}$ = Selection target; $I_{j...n}$ = Intensity of selection.

The selection target assigned to each variable refers to the units of standard deviation from the average to be achieved in the selection. The target took values from -3 to +3; when the value is negative, the selection will choose those genotypes that are below the population mean for the variable being evaluated; on the contrary, with positive values, the selected

con valor negativo la selección será para aquellos genotipos que se encuentren por debajo de la media de la población para la variable en evaluación; por el contrario, con valores positivos aquellos genotipos que se encuentren por arriba de la media de la población y para seleccionar genotipos que se encuentren cercanos al promedio se utilizan metas con valor de cero.

La intensidad de selección es el grado de importancia que se le asignan a cada una de las variables a ser utilizadas en la selección y toma valores de 1 a 10. Este valor es diferente para cada una de las variables, según el criterio del investigador. El valor de intensidad más pequeño (1) es asignado a la variable de menor interés y el valor más alto (10) representa la variable de mayor importancia.

Las variables que fueron incluidas en la selección se encontraban con valores en unidades distintas (toneladas, centímetros, días, porcentajes, etc.), por lo que fue necesario estandarizar cada uno de ellos y de esta forma las características pudieran combinarse mediante la fórmula siguiente:

$$Z = \frac{y_j - \bar{y}}{s}$$

Donde: Z = valor estandarizado; y_j = valor observado para la entrada j ; \bar{y} = promedio de todas las entradas; s = desviación estándar del grupo de entradas.

El valor estandarizado de cada una de las variables entre más cerca se encuentre a la meta deseada más pequeño será el valor del índice de selección y más cerca se encontrará el genotipo de los criterios deseados, y entre más grande sea el valor del índice más alejado se encuentra del genotipo con los criterio establecidos. El genotipo que obtenga el valor del índice de selección más pequeño es considerado como superior, ya que reúne la mayoría de los caracteres requeridos en la selección.

Para la construcción de los índices en la subpoblación “10” se consideró en reducir la selección tanto en altura de planta como altura de mazorca, seleccionar las familias precoces; se requirió además, familias con buen potencial de rendimiento, mayor longitud de mazorca, con buen diámetro de mazorca y mayor número de hileras de mazorca (Cuadro 1). En la subpoblación “37” los criterios fueron en mantener la media poblacional tanto en altura de planta como altura de mazorca, además de familias con precocidad media, individuos con buena longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y con buen potencial de rendimiento.

genotypes will be those that are above the population mean; for selecting genotypes that are close to the average we used targets with zero value.

Selection intensity is the degree of importance, from 1 to 10, assigned to each of the variables to be used in the selection. This value is different for each of the variables, at the discretion of the researcher. The smallest intensity value (1) is assigned to the variable of least interest, and the highest value (10) represents the most important variable.

The variables that were included in the selection had values in different units (tons, centimeters, days, percentages, etc.); it was necessary to standardize each of them so the characteristics could be combined using the following formula:

$$Z = \frac{y_j - \bar{y}}{s}$$

Where: Z = Standardized value; y_j = Observed value for the entry j ; \bar{y} = Average of all entries; s = Standard deviation of the group of entries.

The closer the standardized value of each of the variables is to the desired target, the smaller will be the value of the selection index, and the closer the genotype will be of the desired criteria; also, the larger the index value, the farthest the genotype will be from the criteria established. The genotype that obtains the smallest value in the selection index is considered superior, because it has most of the characters required by the selection.

To construct the indexes in the subpopulation "10", we considered lowering the selection for both plant height and cob height, selecting precocious families. In addition, we required families with good yield potential, increased cob length, good cob diameter and a higher number of rows per cob (Table 1). In the subpopulation "37", the criteria were to maintain the population mean in both plant and cob height, and to select families with mean precocity, individuals with good length and cob diameter, good number of rows per cob and good yield potential.

The simultaneous equations for obtaining the b_i coefficients, according to Hazel (1943), were expressed as follows:

$$\begin{aligned} b_1 P_{11} + b_2 P_{21} + \dots + b_n P_{n1} &= G_{1r} \\ b_1 P_{12} + b_2 P_{22} + \dots + b_n P_{n2} &= G_{2r} \\ \vdots & \\ b_1 P_{1n} + b_2 P_{2n} + \dots + b_n P_{nn} &= G_{nr} \end{aligned}$$

Cuadro 1. Metas e intensidades para el cálculo de índices de selección en las subpoblaciones “10” y “37” de Liebre. Otoño 2010.

Table 1. Targets and intensities to calculate selection indexes in subpopulations "10" and "37" of "Liebre". Autumn, 2010.

Variable	Población “10”		Población “37”	
	Meta	Intensidad	Meta	Intensidad
Altura de planta	-2	1	0	2
Altura de mazorca	-2	2	0	3
Floración masculina	-1	2	-1	2
Floración femenina	-1	3	-1	3
Rendimiento de grano	3	5	3	8
Longitud de mazorca	2	4	2	8
Diámetro de mazorca	2	3	2	6
Hileras de mazorca	2	4	2	5

Las ecuaciones simultáneas para obtener los coeficientes b_i , de acuerdo con Hazel (1943) quedaron expresadas de la siguiente forma:

$$b_1 P_{11} + b_2 P_{21} + \dots + b_n P_{n1} = G_{1r}$$

$$b_1 P_{12} + b_2 P_{22} + \dots + b_n P_{n2} = G_{2r}$$

.....

$$b_1 P_{1n} + b_2 P_{2n} + \dots + b_n P_{nn} = G_{nr}$$

Donde: P_{ij} es la covarianza fenotípica entre los caracteres i y j, y G_{ij} la covarianza genotípica entre el carácter i y el rendimiento, en el caso de que ambos subíndices correspondan al mismo carácter, P_{ij} representa la varianza fenotípica y G_{ir} la varianza genética.

Los parámetros genotípicos y fenotípicos de las ocho características se pueden representar en forma de matriz de la siguiente forma: $Pb = G$

Donde: P = matriz de varianza y covarianza fenotípica; b = vector de coeficientes de ponderación; G = vector de varianzas y covarianzas genotípicas; la solución para despejar los coeficientes b_n es la siguiente:

$$b = P^{-1} G$$

Donde: P^{-1} = es la matriz inversa de P ; ya calculados los coeficientes b_n se construye el índice de selección para cada individuo.

Se estimaron las respuestas a la selección de un determinado grupo de índices escogidos se expresa por la siguiente ecuación, de acuerdo con Robinson *et al.* (1951):

$$\Delta G = z/p \sqrt{b_1 \delta y g + b_2 \delta y g + \dots + b_n \delta y g n}$$

Where: P_{ij} is the phenotypic covariance between characters i and j, and G_{ij} the genotypic covariance between the i character and yield; in the case when both subscripts correspond to the same character, P_{ij} represents the phenotypic variance and G_{ir} the genetic variance.

The genotypic and phenotypic parameters of the eight characteristics can be represented in matrix form as follows: $Pb = G$

Where: P = phenotypic variance and covariance matrix; b = weighting vector; G = vector of genotypic variances and covariances; the solution to find the b_n coefficients is: $b = P^{-1} G$.

Where: P^{-1} = is the inverse matrix of P ; when the b_n coefficients are calculated, the selection index is built for each individual.

The responses to the selection of a specific group of indexes were estimated. It is expressed by the following equation, according to Robinson *et al.* (1951):

$$\Delta G = z/p \sqrt{b_1 \delta y g + b_2 \delta y g + \dots + b_n \delta y g n}$$

Where: ΔG = genetic gain; z/p = standardized selection differential (with value of 1.75); $b_{1,2,n}$ = weighting coefficient; $\delta y g_n$ = genetic covariance of yield (y) with the character n.

To calculate the relative efficiency of the expected response of the indexes within all families, we used the formula of Hazel and Lush (1942).

$$R_i = k [a_1^2 h^4_1 \delta^2_{p(I)} + \dots + a_n^2 h^4_n \delta^2_{p(n)}]^{0.5}$$

Donde: ΔG = ganancia genética; z/p = diferencial de selección estandarizado. (con valor de 1.75); $b_{1,2,n}$ = coeficiente de ponderación ; δ_{yg_n} = covarianza genética del rendimiento (y) con el carácter n .

Para calcular la eficiencia relativa de la respuesta esperada de los índices de selección dentro de todas las familias fue de acuerdo a la fórmula de Hazel y Lush (1942).

$$R_1 = k [a_1^2 h^4_1 \delta_{p(1)}^2 + \dots + a_n^2 h^4_n \delta_{p(n)}^2]^{0.5}$$

Para calcular la eficiencia relativa de selección de caracteres independientes la fórmula utilizada fue:

$$R_2 = a_1 h^2 k_1 \delta_{p(1)} + \dots + a_n h^2 n k_n \delta_{p(n)}$$

Donde: R = respuesta a la selección; k = diferencial de selección estandarizado. (con valor de 1.40); δ_p^2 = desviación estándar fenotípica; h = heredabilidad en sentido estricto.

Se realizó un análisis correlación tanto fenotípica como genotípica entre los caracteres estudiados, para esto se utilizaron las estimaciones de los componentes de varianza y covarianza, respectivos. La correlación fenotípica se estimó con la siguiente fórmula:

$$r_{pxy} = \frac{Convpxy}{\sqrt{\delta^2(px)(\delta^2 py)}}$$

r_{pxy} = coeficiente de correlación fenotípica entre los caracteres x y y

Cov = covarianza fenotípica entre los caracteres x y y

$\delta^2 px$ = varianza fenotípica entre los caracteres x

$\delta^2 py$ = varianza fenotípica entre los caracteres y .

La correlación genética se estimó con la fórmula:

$$r_{gxy} = \frac{Convgxy}{\sqrt{\delta^2(gx)(\delta^2 gy)}}$$

r_{gxy} = coeficiente de correlación genética entre los caracteres x y y

Cov = covarianza genética entre los caracteres x y y

$\delta^2 gx$ = varianza genética a entre los caracteres x

$\delta^2 gy$ = varianza genética a entre los caracteres y .

Se estimaron los componentes de varianza, obteniéndose los valores estimados de los componentes de variación simultánea de cada par de variables utilizando la fórmula reportada por Kempthorne (1969).

To calculate the relative efficiency of the selection of independent characters, the formula used was:

$$R_2 = a_1 h^2 k_1 \delta_{p(1)} + \dots + a_n h^2 n k_n \delta_{p(n)}$$

Where: R = response to selection; k = standardized selection differential (with a value of 1.40); δ_p^2 = phenotypic standard deviation; h = heritability in the narrow sense.

An analysis of both phenotypic and genotypic correlation was performed between the characters studied; for this we used the estimates of the respective variance and covariance components. The phenotypic correlation was estimated with the following formula:

$$r_{pxy} = \frac{Convpxy}{\sqrt{\delta^2(px)(\delta^2 py)}}$$

r_{pxy} = phenotypic correlation coefficient between characters x and y

Cov = phenotypic covariance between characters x and y

$\delta^2 px$ = phenotypic variance among x characters

$\delta^2 py$ = phenotypic variance among y characters.

The genetic correlation was estimated with the formula:

$$r_{gxy} = \frac{Convgxy}{\sqrt{\delta^2(gx)(\delta^2 gy)}}$$

r_{gxy} = coefficient of genetic correlation between characters x and y

Cov = genetic covariance between characters x and y

$\delta^2 gx$ = genetic variance among x characters

$\delta^2 gy$ = genetic variance among y characters.

The variance components were estimated, obtaining the estimated values of the components of simultaneous variation of each pair of variables using the formula reported by Kempthorne (1969).

Phenotypic covariance was estimated in the following way:

$$Cov_{pxy} = \frac{\delta^2 pxy - \delta^2 px - \delta^2 py}{2}$$

Genetic covariance was estimated as follows:

$$Cov_{gxy} = \frac{\delta^2 gxy - \delta^2 gx - \delta^2 gy}{2}$$

The sample size was offive randomly selected cobs per plot. The cob diameter (DM) was measured with a vernier scale graduated in cm and placed in the middle of the cob; data

La covarianza fenotípica se estimó de la siguiente manera:

$$\text{Cov}_{\text{pxy}} = \frac{\delta^2 \text{pxy} - \delta^2 \text{px} - \delta^2 \text{py}}{2}$$

La covarianza genética fue estimada de la siguiente manera:

$$\text{Cov}_{\text{gxy}} = \frac{\delta^2 \text{gxy} - \delta^2 \text{gx} - \delta^2 \text{gy}}{2}$$

El tamaño de muestra fue al azar de cinco mazorcas por parcela; diámetro de la mazorca (DM). Se midió con un vernier graduado en cm, se colocó en la parte media de la mazorca y se obtuvo el dato de cinco mazorcas representativas. Se calculó el promedio en cm y se registró el dato por parcela; número de hileras de la mazorca (HM). Se estimó contando las hileras de una muestra de cinco mazorcas da cada parcela; el dato se promedio y se registró como el dato promedio por mazorca; rendimiento de grano (Rend). Se cosecharon todas las plantas y se peso el grano en kg, posteriormente se transformó en t ha⁻¹.

Para cada una de las variables evaluadas se realizó un análisis de varianza con el modelo experimental de látice triple, conforme al método presentado por Cochran y Cox (1980) (Cuadro 2).

La estimación de los componentes de la varianza genética se realizó utilizando la información de las esperanzas de cuadrados medios cuya ventaja de estas estimaciones es que permite tener idea de la magnitud de los diferentes efectos genéticos (Searle, 1971). De acuerdo con Hallauer y Miranda (1981), el cual corresponde al modelo aleatorio, en el cuadro 4 se representa el análisis de varianza individual y sus esperanzas de cuadrados medios.

$$\text{Se estimaron varianzas fenotípicas} = \frac{\text{ECM}(\text{familias})}{r}$$

$$\text{Varianzas genéticas} = \frac{\text{ECM}(\text{familias}) - \text{ECM}(\text{error})}{r}$$

Dentro de estas últimas las varianzas aditivas= $2(1/2 \delta^2 A + 1/4 \delta^2 D)$ citado por Hallauer y Miranda (1981).

$$\text{Heredabilidad en sentido estrecho} = \frac{\delta^2 A}{\delta^2 F}$$

Se calculó la predicción de la respuesta a la selección, la respuesta a la selección (R), es el cambio producido por la selección que interesa, significa la diferencia de valor fenotípico medio entre la descendencia de los progenitores seleccionados y la generación parental antes de la selección.

from five representative cobs was obtained. The average per plot was calculated and registered in cm, as well as the number of rows per cob (HM). It was estimated by counting the rows of a sample of five cobs per plot; the data was averaged and registered as the average data per cob; grain yield (Yield). All plants were harvested and their grains weighted in kg; these data were subsequently transformed into t ha⁻¹.

An analysis of variance was performed for each of the evaluated variables, using the experimental triple lattice design, a method presented by Cochran and Cox (1980) (Table 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios indicativos (CM) y sus esperanzas (ECM), del análisis de varianza individual.

Table 2. Indicative mean squares (CM) and their expected values (ECM) from the individual variance analysis.

FV	GL	ECM
Bloque	b-1	
Rep (B)	b(r-1)	
Familias	f-1	$\delta^2 e + r \delta^2 f$
B*F	(b-1)(f-1)	$\delta^2 e + r \delta^2 bf$
Error	B (f-1) (r-1)	$\delta^2 e$

The estimation of the genetic variance components was performed using the information of the expected mean squares; the advantage of these estimates is that they allow to have an idea of the magnitude of the different genetic effects (Searle, 1971). Table 4 shows the individual variance analysis and expected mean squares that correspond to the random model, according to Hallauer and Miranda (1981).

$$\text{Se estimaron varianzas fenotípicas} = \frac{\text{ECM}(\text{familias})}{r}$$

$$\text{Varianzas genéticas} = \frac{\text{ECM}(\text{familias}) - \text{ECM}(\text{error})}{r}$$

Within the latter additive variances= $2(1/2 \delta^2 A + 1/4 \delta^2 D)$ cited by Hallauer and Miranda (1981).

$$\text{Narrow-sense heritability} = \frac{\delta^2 A}{\delta^2 F}$$

The prediction of the response to the selection was calculated; the response to the selection (R) is the change produced by the selection of interest, meaning the difference of average phenotypic value between the progeny of the selected parents and the parental generation before the selection.

$$R = i \cdot h^2 \cdot \delta^2_A$$

Donde: R=predicción de selección; i=presión de selección; h^2 = heredabilidad en sentido estrecho; δ^2_A = varianza aditiva.

Resultados y discusión

En el Cuadro 3 se anotan los coeficientes involucrados en la ganancia genética predicha y eficiencias relativas para índices de selección y selección independiente de la subpoblación "10".

Cuadro 3. Coeficientes y comparación de eficiencias relativas con índices de selección y selección independiente entre ocho caracteres de maíz de grano de la subpoblación "10" de Liebre. Otoño 2010.

Table 3. Coefficients and comparison of relative efficiencies using selection indexes and independent selection between eight characters of grain corn from the subpopulation "10" of "Lambre". Autumn 2010.

Carácter	Coeficientes	Ganancia Genética	Índice de Selección	Selección Independiente
Rend	3.813	3.490	0.716	0.151
AP	0.800	4.289	0.509	0.486
AM	0.511	4.026	0.799	0.208
FF	0.220	0.909	0.132	0.004
FM	0.145	0.697	0.599	0.637
LM	0.217	0.922	0.430	0.056
DM	3.185	4.626	3.408	1.907
HM	0.778	4.285	0.992	0.362
Rend/AP	4.252	3.817	6.552	4.637
Rend/AM	2.013	2.555	6.548	5.359
Rend/FF	0.510	6.102	1.606	0.155
Rend/FM	0.115	0.866	2.002	0.788
Rend/LM	0.961	1.809	1.868	0.207
Rend/DM	0.045	0.570	3.551	2.121
Rend/HM	0.342	0.917	2.283	0.513
R/AP/FF	5.442	6.802	6.583	4.641
R/AP/LM	6.120	6.103	6.652	5.198
R/AP/FM/DM	7.866	7.090	7.430	7.181
R/AM/FM/LM	4.283	5.395	6.785	6.052
R/AM/FM/DM	2.153	6.208	7.426	8.054

Se obtuvieron coeficientes que fluctuaron entre 0.045 a 7.866. Los caracteres con mayor ganancia genética predicha la presentaron las combinaciones: R/AP/FM/DM (7.090), R/AP/FF (6.802) y R/AP/LM (6.120). Estos resultados indican que cuando la selección se realiza en base a un criterio que involucra varios caracteres en forma simultánea existe mayor ganancia cuando se incluye el rendimiento como parte del criterio de selección. Esto concuerda con la información de Tucuch *et al.*

$$R = i \cdot h^2 \cdot \delta^2_A$$

Where: R = prediction of selection; i = selection pressure; h^2 = narrow-sense heritability; δ^2_A = additive variance.

Results and discussion

In Table 3 are recorded the coefficients involved in the predicted genetic gain and the relative efficiencies for the selection indexes and independent selection of subpopulation "10".

Cuadro 3. Coeficientes y comparación de eficiencias relativas con índices de selección y selección independiente entre ocho caracteres de maíz de grano de la subpoblación "10" de Liebre. Otoño 2010.

Table 3. Coefficients and comparison of relative efficiencies using selection indexes and independent selection between eight characters of grain corn from the subpopulation "10" of "Lambre". Autumn 2010.

The coefficients obtained fluctuated between 0.045 and 7.866. The characters with the highest predicted genetic gain were found in the combinations: R/AP/FM/DM (7.090), R/AP/FF (6.802) and R/AP/LM (6.120). These results indicate that when the selection is made based on a criterion involving multiple characters simultaneously, there is a higher gain when yield is included as part of the selection criterion. This is consistent with the information provided by Tucuch *et al.* (2011), who

(2011) quienes encontraron mayor ganancia genética involucrando varios caracteres que para selección de los caracteres *per se* en forma individual.

Los caracteres con mayor eficiencias relativas en índices de selección se presentaron en R/AP/FM/DM (7.090%), R/AM/FM/DM (7.426%) y R/AM/FM/LM (6.785%). Reyes (1985) mencionó que las eficiencias relativas en los índices de selección podrían incrementarse con el uso de componentes de rendimiento, cuya relación causal con el mismo tenga sólidas bases fisiológicas. En selección independiente las mayores eficiencias relativas se encontraron en R/AM/FM/LM (8.054), R/AP/FM/DM (7.181%) y R/AM/FM/LM (6.052%). Se observó que las eficiencias relativas tendieron a incrementarse a medida que aumentó el número de caracteres incluidos, concordando esto con lo reportado por Taba *et al.* (1998) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros genotípicos y fenotípicos de ocho características de la subpoblación "10" de Liebre. Otoño 2010.
Table 4. Genotypic and phenotypic parameters of eight characteristics of subpopulation "10" of "Liebre". Autumn, 2010.

	Rend. t ha ⁻¹	AP (cm)	AM (cm)	FF (días)	FM (días)	LM (cm)	DM (cm)	HM (número)
Valor Fen.	2.4	238.01	124.35	63.48	64.45	15.95	2.39	12.13
Var G	0.1	57.87	57.72	0.05	0.01	0.06	3.80	0.32
Var F	3.6	509.32	375.92	4.40	10.39	3.56	12.12	2.41
H	0.04	0.113	0.153	0.011	0.001	0.01	0.31	0.133
Valor Econ	1	1	1	1	1	1	1	1
	Rend/AP	Rend/AM	Rend/FF	Rend/FM	Rend/LM	Rend/DM	Rend/HM	AP/AM
Corr G	0.16	0.34	0.18	0.41	0.09	0.19	0.30	0.00
Cov G	0.50	0.11	-0.09	-0.13	0.10	-0.15	-0.06	15.02
Corr F	0.06	0.00	0.06	0.08	0.10	0.04	0.05	0.00
Cov F	2.68	3.44	-0.37	-0.34	-0.12	-0.27	-0.15	294.73
	AP/FM	AP/FF	AP/LM	AP/DM	AP/HM	AM/FF	AM/FM	AM/LM
Corr G	0.28	0.18	0.84	0.21	0.16	0.01	0.55	0.14
Cov G	0.80	0.17	-1.61	-3.15	0.73	0.81	0.45	0.27
Corr F	0.22	0.23	0.04	0.06	0.05	0.03	0.22	0.02
Cov F	0.77	0.74	0.17	4.89	1.97	12.96	-9.23	0.86
	AM/DM	AM/HM	FF/FM	FF/LM	FF/DM	FF/HM	FM/LM	FM/DM
Corr G	0.02	0.11	0.64	0.66	0.92	0.01	0.80	0.36
Cov G	1.72	1.40	-0.03	0.44	0.56	0.28	0.04	0.15
Corr F	0.01	0.05	0.81	0.03	-0.09	0.04	0.02	-0.03
Cov F	5.45	1.57	5.53	0.19	-0.10	0.33	0.11	-0.26
	FM/HM	LM/DM	LM/HM	DM/HM				
Corr G	0.51	0.68	0.10	0.79				
Cov G	0.15	0.31	0.01	0.87				
Corr F	0.01	0.22	0.13	0.50				
Cov F	0.04	1.48	0.38	2.75				

Existe una estrecha relación correspondiente entre la eficiencia relativa del valor del índice de selección y selección independiente con el valor de correlación

found greater genetic gain when several characters were involved than when the characters were selected individually *per se*.

The characters with higher relative efficiencies in selection indexes were found in at R/AP/FM/DM (7.090%), R/AM/FM/DM (7.426%) and R/AM/FM/LM (6.785%). Reyes (1985) mentioned that the relative efficiencies pointed out by selection indexes could increase with the use of yield components whose causal relationship with yield has a strong physiological basis. With independent selection, the highest relative efficiencies were found in R/AM/FM/LM (8.054), R/AP/FM/DM (7.181%) and R/AM/FM/LM (6.052%). It was observed that the relative efficiencies tended to increase when the number of characters included increased, in agreement with what was reported by Taba *et al.* (1998) (Table 4).

Cuadro 4. Parámetros genotípicos y fenotípicos de ocho características de la subpoblación "10" de Liebre. Otoño 2010.
Table 4. Genotypic and phenotypic parameters of eight characteristics of subpopulation "10" of "Liebre". Autumn, 2010.

There is a close relationship between the relative efficiency of the values of the selection index and the independent selection, and the genotypic correlation value of the

genotípica del carácter respectivo (Cuadro 3), $r=0.341$ en R/AM, $r=0.418$ en R/FM, $r=0.418$ en R/LM con el rendimiento de grano. Así, los caracteres correlacionados con el rendimiento fueron más eficientes, indicando esto que la selección basada en varios caracteres correlacionados con el rendimiento son eficientes.

Por lo tanto, puede afirmarse cuando se selecciona un carácter como medio para mejorar otro, deberá considerarse, tanto el grado de asociación con el carácter por mejorar, así como el porcentaje de heredabilidad del carácter seleccionado.

Con las correlaciones observadas (Cuadro 4) cabría la posibilidad de aumentar el rendimiento mediante la selección de plantas con mayor altura de planta, floración masculina y longitud de mazorca y más si se tiene en cuenta que diámetro de mazorca presenta mayor heredabilidad, por lo que el progreso que se podría esperar al incluir este carácter en generaciones tempranas, sería significativo lo cual concuerda con la información de Presterl *et al.* (2003). Al utilizar estas características hay que evitar la selección de plantas tardías.

La eficiencia en R/AP/FM/DM (7.090%) hace suponer que existe una proporción de genes comunes a los caracteres AP, FM, DM y rendimiento, por lo que estos caracteres pueden ser buenos indicadores de la variabilidad genética potencial del rendimiento de grano. Este resultado tiene su explicación, en el sentido de que el aumentar el número de caracteres se obtendrá mayor avance genético. Sobre este particular Hazel (1943), señaló que la inter correlación de caracteres influye en los valores de las eficiencias relativas y en los coeficientes de ponderación. De aquí se sugiere que los índices más eficientes son aquellos que incluyen caracteres correlacionados con el carácter por mejorar.

Los caracteres involucrados en índices que presentaron mayor eficiencia fueron aquellos que consideraron al rendimiento de grano, lo cual concuerda con Robinson *et al.* (1951) y con lo reportado por Searle (1965); sin embargo, otros autores han encontrado que los caracteres más eficientes en índices de selección a veces no contienen rendimiento.

Las familias seleccionadas de acuerdo a los valores de los índices de selección con la metodología por Barreto *et al.* (1991) se anotan en el Cuadro 5. Las familias que obtuvieron los valores del índice de selección más pequeños son consideradas como superiores, ya que reunieron la mayoría

respectiva character (Table 3), $r=0.341$ in R/AM, $r=0.418$ in R/FM, $r=0.418$ in R/LM with the grain yield. Thus, the characteristics correlated with yield were more efficient, indicating that the selection based on various characteristics correlated with yield are efficient.

Therefore, it can be said that when a character is selected as a means to improve another, it is necessary to consider both the degree of association with the character to improve, and the percentage of heritability of the selected character.

With the observed correlations (Table 4), it might be possible to increase yield by selecting plants of greater height, male flowering and cob length, especially when considering which cob diameter presents greater heritability, so that the progress that could be expected by including this character in early generations would be significant, which is consistent with the information provided by Presterl *et al.* (2003). When using these characters, it is necessary to avoid the selection of late plants.

The efficiency in R/AP/FM/DM (7.090%) suggests that there is a proportion of genes that are common to the characters AP, FM, DM and yield, so these characters could be good indicators of the potential genetic variability of grain yield. This result is explained by the fact that by increasing the number of characters it is possible to obtain more genetic advance. In this regard, Hazel (1943) noted that the inter-correlation of characters influences the values of the relative efficiencies and the weighting coefficients. This suggests that the more efficient indexes are those that include characters correlated with the character one is attempting to improve.

The characters involved in indexes that presented greater efficiency were those which considered grain yield, which is consistent with Robinson *et al.* (1951) and with what was reported by Searle (1965); however, other authors have found that the most efficient characters in selection indexes sometimes do not contain yield.

The families selected according to the values of the selection indexes with the methodology of Barreto *et al.* (1991) are registered in Table 5. The families that obtained the smaller selection index values are considered superior because most contained the characters required by the selection; in this case, the families were 43 ($I=5.43$), 27 ($I=7.05$), 144 ($I=7.17$), 79 ($I=7.58$), 73 ($I=7.71$).

de los caracteres requeridos en la selección, en este caso, fueron las familias 43 ($I=5.43$), 27 ($I=7.05$), 144 ($I=7.17$), 79 ($I=7.58$), 73 ($I=7.71$).

For the construction of the indexes we considered lowering the selection requirements both for plant height and for cob height, selecting precocious families; we

Cuadro 5. Familias seleccionadas de la subpoblación "10" de Liebre en base a los índices de selección. Otoño 2010.

Table 5. Families selected from the subpopulation "10" of "Liebre" based on the selection indexes. Autumn 2010.

F-HC	Índice	AP	AM	FF	FM	Rend	LM	DM	HM
43	5.43	231.66	111.66	62.33	61.33	3.56	17.00	2.77	12.86
27	7.05	236.66	125.00	61.66	64.00	4.95	15.73	2.42	12.86
144	7.17	203.33	96.66	63.00	65.33	4.01	16.53	2.25	12.93
79	7.58	238.33	123.33	63.00	65.00	3.80	18.46	2.44	12.33
73	7.71	246.66	110.00	63.33	63.00	2.72	17.10	2.54	12.53
45	7.98	236.66	118.33	61.00	62.66	2.87	17.26	2.40	12.46
85	8.17	233.33	121.66	63.33	65.00	2.91	17.93	2.32	13.06
156	8.31	246.66	126.66	62.66	63.33	2.46	16.66	2.63	12.93
140	8.59	243.33	120.33	63.66	63.00	2.97	15.86	2.49	12.66
166	8.71	235.00	118.33	61.66	61.66	3.79	15.53	2.30	12.46
16	8.81	231.66	126.66	62.33	61.33	2.41	16.53	2.42	12.80
50	8.91	223.33	113.33	63.66	64.33	2.59	16.86	2.58	11.86
106	9.26	226.66	105.00	64.66	62.66	2.76	15.33	2.55	12.53
104	9.26	261.66	135.00	61.33	61.33	2.76	16.93	2.61	12.20
37	9.34	223.33	108.33	63.33	64.33	1.61	16.20	2.68	13.13
153	9.34	246.66	135.00	63.33	64.00	3.10	16.26	2.50	12.13
96	9.38	270.00	130.00	64.66	66.00	3.35	17.06	2.33	13.03
Máxima		270.00	156.66	67.33	69.33	14.34	18.46	2.78	14.73
Media		238.02	124.35	63.48	64.45	2.42	15.93	2.39	12.13
Mínima		201.66	96.66	60.66	59.00	1.06	13.40	1.79	10.80

Para la construcción de los índices se consideró en reducir la selección tanto en altura de planta como altura de mazorca, seleccionar las familias precoces; se requirió además, familias con alto potencial de rendimiento, mayor longitud y diámetro de mazorca, y mayor número de hileras por mazorca.

El hecho de que los promedios obtenidos en los ocho caracteres en la construcción de los índices no son los mayores en las familias seleccionadas de acuerdo al valor del índice puede obedecer a que la selección se incrementó para rendimiento de grano debido a las variaciones correlativas.

Los coeficientes para la subpoblación "37" (Cuadro 6), presentaron valores entre 0.416 a 18.205 para dos Rend/AP y cuatro R/AP/FM/DM caracteres involucrados, respectivamente. Asimismo, se presentan las ganancias genéticas predichas, eficiencias relativas para índices de selección y selección independiente.

required, also, families with high yield potential, greater cob length and diameter, and a higher number of rows per cob.

The fact that the selected families did not have the highest averages for the eight characters obtained during the construction of the indexes may be due to the fact that selection was increased for grain yield due to the correlative variations.

The coefficients for the subpopulation "37" (Table 6), showed values between 0.416 and 18.205 for two Yield/AP and four R/AP/FM/DM characters involved, respectively. Table 6 presents also the predicted genetic gains, and the relative efficiencies for selection indexes and independent selection.

On the other hand, the predicted genetic gain increases when other characters related to yield components are included, confirming the results of Arévalo (1974) and Torres (1974).

Cuadro 6. Coeficientes y comparación de eficiencias relativas con índices de selección y selección independiente entre ocho caracteres de maíz de grano de la población "37" de Liebre. Otoño 2010.**Table 6. Coefficients and comparison of relative efficiencies with selection indexes and independent selection of eight grain corn characters of the population "37" of "Liebre". Fall 2010.**

Carácter	Coeficientes	Ganancia genética	Índice de selección	Selección independiente
Rend	0.21	1.11	0.76	0.30
AP	1.86	2.51	4.38	4.37
AM	1.42	3.59	4.13	4.13
FF	1.68	4.99	1.77	0.54
FM	1.01	3.45	0.80	0.16
LM	0.19	0.88	0.40	0.04
DM	3.21	4.14	3.39	1.89
HM	0.77	1.83	0.29	0.03
Rend/AP	0.41	0.64	13.09	4.68
Rend/AM	1.16	1.80	12.72	4.44
Rend/FF	0.04	0.70	1.93	0.85
Rend/FM	0.05	0.91	1.10	0.47
Rend/LM	0.37	1.15	0.86	0.35
Rend/DM	4.02	3.85	3.47	2.20
Rend/HM	0.77	1.73	0.81	0.34
R/AP/FF	10.82	4.59	13.21	5.22
R/AP/LM	7.35	4.73	13.09	4.73
R/AP/FM/DM	18.20	9.03	13.54	6.74
R/AM/FM/LM	13.67	6.69	12.76	4.66
R/AM/FM/DM	9.65	5.80	13.19	6.50

Por otra parte, la ganancia genética predicha se incrementa al incluir otros caracteres relacionados con los componentes de rendimiento, confirmando los resultados de Arévalo (1974) y Torres (1974).

La mayor eficiencia relativa en índices de selección se encontró en R/AP/FM/DM= 13.548%, R/AP/FF= 13.212% y R/AM/FM/DM= 13.198%; mientras que la menor fue para HM= 0.298% y LM= 0.404. La combinación de tres y cuatro caracteres fue más eficiente debido posiblemente a la inclusión de la altura de planta y altura de mazorca que presentaron mayor eficiencia, de 4.388% y 4.139%, respectivamente. Esto puede explicarse ya que los caracteres manifestaron correlaciones genéticas positivas con rendimiento de grano (Cuadro 7), R/FM r= 0.590, R/DM r= 0.973 y AP/FM r= 0.817. Mohammadi y Syed (2010) mencionan al respecto que la correlación genética entre dos caracteres juega un papel importante en la respuesta correlacionada de la selección; se asegura por lo tanto, siendo el rendimiento un carácter poligénico, cabe suponer que al estar este correlacionado con otros caracteres, se asegura un máximo progreso con el uso de los índices de selección. También mencionan que cuando un carácter esta

The greater relative efficiency in selection indexes was found in R/AP/FM/DM= 13.548%, R/AP/FF= 13.212% and R/AM/FM/DM= 13.198%, while the lowest relative efficiency was for HM= 0.298% and LM= 0.404. The combination of three and four characters was more efficient possibly due to the inclusion of the values for plant height and cob height which showed the highest efficiency: 4.388% and 4.139%, respectively. This can be explained because the characters showed positive genetic correlations with grain yield (Table 7), R/FM r= 0.590, R/DM r= 0.973 and AP/FM r= 0.817. Mohammadi and Syed (2010) mentioned in this respect that the genetic correlation between two characters plays an important role in the correlated response of the selection; as yield is a polygenic character, it can be supposed that when it is correlated with other characters, a maximum progress is ensured with the use of selection indexes. They also mention that when a character is correlated with other characters, the selection of some of these characters can cause changes in associated characters, including yield.

The greatest relative efficiencies for independent selection were obtained with R/AP/FM/DM= 6.742%, R/AM/FM/DM= 6.506% and R/AP/FF= 5.224%. This indicates that

correlacionado con otros caracteres, la selección en algunos de éstos puede producir cambios en caracteres asociados, entre ellos el rendimiento.

La mayor eficiencia relativa para selección independiente fue con R/AP/FM/DM=6.742%, R/AM/FM/DM=6.506% y R/AP/FF=5.224%. Esto indica que las eficiencias basados en la combinación de tres a cuatro caracteres en general son mayor que las eficiencias de uno o dos caracteres como lo fue en este estudio (Cuadro 7).

Cuadro 7. Parámetros genotípicos y fenotípicos de ocho características de la subpoblación "37" de Liebre. Otoño 2010.
Table 7. Genotypic and phenotypic parameters of eight characteristics of subpopulation "37" of "Liebre". Autumn 2010.

	Rend. t ha ⁻¹	AP (cm)	AM (cm)	FF (días)	FM (días)	LM (cm)	DM (cm)	HM (número)
Valor Fen.	227.21	108.14	63.02	63.61	2.88	15.83	2.40	12.23
Var G	0.19	56.15	52.79	1.04	0.21	0.05	3.76	0.32
Var F	1.15	498.03	497.38	11.10	4.75	3.56	12.10	2.41
H	0.16	0.11	0.10	0.09	0.04	0.01	0.31	0.01
Valor Econ	1	1	1	1	1	1	1	1
	Rend/AP	Rend/AM	Rend/FF	Rend/FM	Rend/LM	Rend/DM	Rend/HM	AP/AM
Corr G	0.08	0.33	-0.72	0.59	0.59	0.97	0.78	0.74
Cov G	-0.28	-0.52	-0.31	-0.11	0.06	0.82	0.19	20.61
Corr F	0.14	0.11	-0.22	0.22	0.17	0.74	0.50	0.62
Cov F	3.37	2.29	-0.79	-0.52	0.34	2.80	0.85	251.76
	AP/FM	AP/FF	AP/LM	AP/DM	AP/HM	AM/FF	AM/FM	AM/LM
Corr G	0.82	0.50	0.57	0.08	0.15	0.50	0.69	0.28
Cov G	-2.87	-3.86	-2.73	1.21	0.64	-1.91	-1.15	0.23
Corr F	0.22	-0.19	0.02	0.14	0.12	0.21	0.16	-0.01
Cov F	-10.71	-14.84	-0.87	11.25	4.47	-12.97	-6.64	-0.44
	AM/DM	AM/HM	FF/FM	FF/LM	FF/DM	FF/HM	FM/LM	FM/DM
Corr G	0.10	0.62	0.99	1.96	-0.53	-0.13	0.43	0.50
Cov G	0.73	1.36	0.41	0.46	-1.02	-0.65	0.37	-0.41
Corr F	0.09	0.08	0.80	-0.04	-0.23	-0.18	-0.01	0.34
Cov F	5.85	2.414	5.83	-0.25	-2.74	-0.97	-0.06	-1.88
	FM/HM	LM/DM	LM/HM	DM/HM				
Corr G	0.26	0.68	0.10	0.79				
Cov G	-0.30	0.31	0.01	0.87				
Corr F	-0.21	0.22	0.13	0.50				
Cov F	-0.72	1.48	0.38	2.75				

Los resultados tienen su explicación en el sentido de que al aumentar, en un índice de selección, el número de caracteres correlacionados con el carácter por mejorar, se obtendrá mayor avance genético. Siendo la correlación una medida de la comunidad de genes que contribuyen a la expresión del carácter objeto de la selección. Por ello, se sugiere que los caracteres que involucraron mayor eficiencia relativa en los dos índices deben ser considerados junto con el rendimiento para mejorar la población.

the efficiencies based on the combination of three to four characters are generally greater than the efficiencies of one or two characters, as was the case in this study (Table 7).

The explanation for these results is that when, in a selection index, the number of characters correlated with the character to improve increases, a greater genetic advance is obtained. Correlation is a measure of the community of genes that contribute to the expression of the character that is the target of the selection. Therefore, we suggest

that the characters that generated more relative efficiency in the two indexes should be considered along with yield to improve the population.

In the construction of the indexes of the subpopulation "37" we considered, as criteria for selection, maintaining the population mean in both plant height and cob height, as well as selecting families with medium precocity, individuals with greater cob length and diameter, a higher number of

En la construcción de los índices de la subpoblación "37" se consideró como criterios de la selección mantener la media poblacional tanto en altura de planta como altura de mazorca, además de familias con precocidad media, individuos con mayor longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y con alto potencial de rendimiento. Por lo tanto, los valores del índice de selección más pequeños son considerados como superiores. Para obtener las mejores familias en base a los valores del índice se aplicó 10% de presión de selección; las 17 mejores familias (Cuadro 8), siendo la familia 88 con el valor más bajo del índice ($I=7.505$) con un promedio de rendimiento de 4.4 t ha^{-1} mayor a la media (2.89 t ha^{-1}) y muy cerca del promedio máximo (4.52 t ha^{-1}), en $AP=233.3$ y $AM=106.7$ cm cerca de la media poblacional (227.2 y 108.1 cm, respectivamente); en cuanto a días de floración se consideró que fueran las precoces, por lo tanto, tuvieron en $FF=61.7$ y $FM=61.3$ días, es decir más precoces que la media poblacional de 63.0 y 63.6 días, respectivamente.

Cuadro 8. Familias seleccionadas de la subpoblación "37" de Liebre en base a los índices de selección. Otoño 2010.
Table 8. Families selected from the subpopulation "37" "Liebre" based on selection indexes. Autumn 2010.

F-HC	Índice	AP	AM	FF	FM	Rend	LM	DM	HM
88	7.50	233.33	106.66	61.66	61.33	4.40	16.33	2.36	13.13
130	7.65	218.33	88.33	62.66	63.66	4.51	16.60	2.59	12.00
151	7.96	233.33	98.33	62.33	63.00	3.63	16.06	2.76	12.80
59	8.09	226.66	103.33	61.33	61.66	3.61	16.73	2.51	12.60
149	8.16	228.33	108.33	62.66	63.66	3.88	16.16	2.55	12.53
137	8.47	233.33	108.33	61.66	61.66	4.21	16.06	2.38	12.53
147	8.70	241.66	110.00	62.66	63.00	3.25	16.66	2.66	12.80
66	8.88	230.00	103.33	64.00	63.66	3.15	16.53	2.82	13.46
161	8.96	223.33	106.66	63.33	64.33	3.63	15.33	2.76	14.00
33	8.97	226.66	105.00	62.66	61.66	3.31	15.73	2.65	13.80
85	9.16	224.00	105.00	62.00	62.00	3.30	16.13	2.75	12.40
153	9.38	251.66	118.33	62.66	63.66	3.53	16.53	2.62	12.13
64	9.44	250.00	115.00	60.33	58.66	4.08	16.06	2.28	13.60
144	9.49	243.33	123.33	62.33	62.00	3.54	16.06	2.45	12.66
141	9.51	218.33	113.33	62.66	63.33	3.11	16.46	2.64	12.66
38	9.71	218.33	96.66	61.66	61.33	3.30	16.26	2.44	12.80
48	9.81	230.00	113.33	63.33	60.33	3.60	16.93	2.33	12.26
Máxima		256.66	138.33	66.66	69.00	4.51	28.00	3.07	14.53
Media		227.21	108.15	63.02	63.61	2.88	15.83	2.30	12.23
Mínima		177.33	80.00	59.00	57.66	1.04	13.73	1.86	10.00

Se consideró además que las familias seleccionadas presentaran mayor longitud, diámetro y número de hileras por mazorca, así que la familia 88 obtuvo en $LM=16.3$ cm, $DM=2.36$ cm y $HM=13.13$ hileras presentando valores superiores al promedio.

rows per cob and high yield potential. Thus, the smaller values of the selection index were considered superior. To obtain the best families based on the index values, we applied a selection pressure of 10%. The top 17 families are shown in Table 8; family 88 got the lowest value of the index ($I=7.505$) with an average yield of 4.4 t ha^{-1} higher than the mean (2.89 t ha^{-1}) and very close to the average maximum (4.52 t ha^{-1}) in $AP=233.3$ and $AM=106.7$ cm, and close to the population mean (227.2 and 108.1 cm, respectively); with respect to days of flowering, the best families were considered to be the precocious ones; therefore, these families had values of $FF=61.7$ and $FM=61.3$ days, i.e., they were more precocious than population mean of 63 and 63.6 days, respectively.

We wanted also that the selected families had greater cob length and diameter and a higher number of rows per cob, so that family 88 had values of $LM=16.3$ cm, $DM=2.36$ cm and $HM=13.13$ rows, all values above average.

Conclusions

Genetic gain was higher when combining in an index four characters correlated with grain yield.

Conclusiones

La ganancia genética fue superior al combinar en un índice a cuatro caracteres correlacionados con el rendimiento de grano.

Los índices de selección más eficientes fueron los que tomaron en cuenta días a floración masculina, altura de planta y mazorca, longitud y diámetro de mazorca; así como rendimiento de grano.

Literatura citada

- Arévalo, N. L. M. 1974. Estimación de parámetros genéticos y su uso en la construcción de índices de selección para rendimiento de grano en Cebada Maltera. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Chapingo, Estado de México. 110 p.
- Barreto, H. J.; Bolaños, J. A.; y Córdova, H. S. 1991. Programa Índices de Selección. Guía para la operación del Software. CIMMYT. México, D. F. 27 p.
- Comton, W. A. and R. E. Comstock. 1976. More on modified Ear-to-Row selection in corn. *Crop. Sci.* 16: 122
- Cochram, W. G. y Cox, G. M. 1980. Diseños experimentales. Trillas (Ed.) México, D. F. 661 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020081042/1020081042_011.pdf. (noviembre, 2011).
- Hallauer, A. and Miranda, B. 1987. Quantitative genetics in maize breeding. 3^{ra}. Reimpresión. Ames. Iowa State Univ. Press. 468 p.
- Hazel, L. N. and Lush, J. L. 1942. The efficiency of three methods of selection. *J. Heredity* 33:393-399.
- Hazel, L. N. 1943 The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28(3):476-490.
- Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. (INEGI). 2010. Anuario estadístico del estado de Nuevo León.
- Kempthorne, O. and Nordskog, W. 1969. Restricted selection indices. *Biometrics* 15:10-19.
- Milligan; S.; Balzarini, B. and White, W. H. 2003. Broad sense heritabilities genetic correlations and selection indices for sugarcane borer resistance and their relation to yield loss. *Crop. Sci.* 43:1729-1735.
- Mohammandi, J. A. and Syed, S. M. 2010. Selection indices for yield and quality traits in sweet corn. *Pak. J. Bot.* 42(2):775-789.
- Presterl, T.; Seitzb, G.; Landbeckc, M.; Thiemta, E. M.; Schmidtc, W. and Geigera, H. H. 2003. Improving nitrogen-use efficiency in European Maize. *Crop. Sci.* 43:1259-1265.
- Robinson, H. F.; Comstock, R. E.; and Harvery, P. H. 1951. Genetic variances in open pollinated varieties of corn. *Genetics* 40:45-60.
- Robertson, A. 1959a. Experimental desing in the evaluation of genetic parameters. *Biometrics*. 15:219-226.
- Robertson, A. 1959b. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics* 15:469-485.
- Searle, S. R. 1971. The value of indirect selection: I. Mass selection. *Biometrics* 21(3):682-707.
- Smith, H. F. 1936 A discriminant function for plant selection. *Biometrics. Ann. Eugen.* 7(2):240-250.
- Taba, S.; Díaz, J.; Franco, J. and Crossa, J. 1998. Evaluation of Caribbean maize accessions to develop a core subset. *Crop Sci.* 38:1378-1386.
- Torres, G. J.; Molina, G. J. y Casas, D. C. 1974. Correlaciones genéticas e índices de selección en la genotecnia de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agrociencia*. 15-18:21-37.
- Tucuch, C. C. A.; Rodríguez, H. A. S.; Reyes, V. M. H.; Pat, F. J. M.; Tucuch, C .C. F. M. y Córdoba, O. H. S. 2011. Índices de selección para producción de forraje de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 22(1):123-132.

End of the English version



The most efficient selection indexes were those that took into account the days to male flowering, plant and cob height, cob length and diameter, and grain yield.

Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) considerando variabilidad climática en el “Valle del Fuerte” Sinaloa, México*

Nutrition of potato crop (*Solanum tuberosum L.*) under climate variability in “Valle del Fuerte”, Sinaloa, Mexico

Ernesto Sifuentes Ibarra^{1§}, Waldo Ojeda Bustamante², Cándido Mendoza Pérez³, Jaime Macías Cervantes¹, Jesús del Rosario Rúelas Islas³ y Marco Antonio Inzunza Ibarra⁴

¹Campo Experimental Valle del Fuerte- CIRNO- INIFAP. Carretera México- Nogales, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, km 1609. ²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8535, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550. ³UAS- Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 y avenida Japaraqui, Juan José Ríos, C. P. 81110. Aheme, Sinaloa. ⁴Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmosfera- CIRNOC. Canal de Sacramento Gómez Palacio, Durango C. P. Km 6.5. 35140. [§]Autor para correspondencia: sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx.

Resumen

El manejo tradicional del cultivo de papa es cada vez menos funcional debido a la alta variabilidad climática en las zonas productoras del noroeste de México, provocando aplicaciones excesivas de insumos, contaminación y baja rentabilidad. Para mejorar lo anterior, se generó una metodología que ayuda a acoplar la demanda nutrimental al clima, mediante funciones autoajustables basadas en el concepto grado día ($^{\circ}\text{D}$) derivadas de las curvas de extracción. El trabajo se desarrolló en el norte de Sinaloa durante dos ciclos agrícolas otoño-invierno (OI): 2008-2009 y 2009-2010, en el INIFAP-CIRNO-CEVAF. En el primer ciclo se obtuvieron curvas base de extracción nutrimental (CB) para la variedad Alpha en riego por goteo; durante el segundo, se validaron las CB con la variedad Fianna en riego por superficie, mediante un experimento con tres tratamientos (T) en un arreglo en bloques completos al azar. El T1 fue la fertilización NPK de acuerdo a CB (245, 30, 350 kg ha⁻¹), en el T2 se fertilizó usando CB+20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹) y el T3 consistió en CB-20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹). La extracción total de nutrientes fue similar en los tres tratamientos, sin embargo, la tasa de absorción fue diferenciada en las etapas iniciales del cultivo. Debido a que

Abstract

The traditional management of potato cultivation is becoming less functional due to the high climatic variability in the production areas of northwestern Mexico, which provoke an excessive application of inputs, pollution and low profitability. In order to improve this, we generated a methodology that helps to bind the demand of nutrients to the climate through self-adjusting functions based on the concept of degree-day ($^{\circ}\text{D}$), derived from the extraction curves. The work was carried out in the north of Sinaloa during two autumn-winter agricultural cycles (AW), 2008-2009 and 2009-2010, in the INIFAP-CIRNO-CEVAF. In the first cycle we obtained base curves of nutrient extraction (BC) for the Alpha variety under drip irrigation; in the second cycle we validated the BC with the Fianna variety under surface irrigation by an experiment with three treatments (T) in a randomized complete block arrangement. T1 was fertilization with NPK according to BC (245, 30, 350 kg ha⁻¹) while T2 consisted of fertilization using BC+20% (294, 36, 420 kg ha⁻¹) and T3 consisted of BC-20% (196, 24, 280 kg ha⁻¹). Total nutrient extraction was similar in all treatments; however, the absorption rate was different in the initial stages of cultivation. Because the difference at T2 was significant

* Recibido: agosto de 2012
Aceptado: abril de 2013

en el rendimiento y calidad del tubérculo fue significativa la diferencia en el T2, en este se generaron las funciones matemáticas, obteniendo R^2 mayores al 0.8. La metodología se probó con éxito en dos parcelas comerciales.

Palabras clave: funciones autoajustables, fertilización, grados día crecimiento.

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una de las principales fuentes de alimentación a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz (FAO, 2012). En México los estados de Sinaloa y Sonora son los principales productores de este cultivo llegando a establecerse tan solo en Sinaloa 14 000 ha⁻¹ anualmente (22% de la superficie nacional) (SIAP-SAGARPA, 2010). A partir de la aplicación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en México, los productores de papa han tenido la necesidad de ser más eficientes para mejorar su competitividad, reducir sus costos de producción y adaptarse a la volatilidad del mercado (Morales-Hernández *et al.*, 2011).

El cultivo de papa demanda grandes cantidades de nutrientes, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante todo su ciclo (White *et al.*, 2007) y es una de las hortalizas de mayor rentabilidad con altos costos de producción que genera excesiva aplicación de insumos (pesticidas, agua y fertilizantes).

Bertsch (2003) reporta que este cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente para una producción de 20 t ha⁻¹, lo que evidencia los altos requerimientos nutrimentales que presenta el cultivo. De acuerdo a Horneck y Rosen (2008) la mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, lo cual significa que antes del llenado de tubérculos la planta consume más de 50% con una demanda diaria de 7 kg ha⁻¹-día, para el caso del P la demanda fluctúa entre 0.4 a 0.9 kg ha⁻¹-día a mitad del ciclo dependiendo de la variedad y clima. Para el K la absorción es de 5 a 14 kg ha⁻¹-día.

Aunado a lo anterior, el continuo incremento en el precio de fertilizantes como urea (46-00-00) y fosfato monoamónico (11-52-00), están afectando su rentabilidad, en 2008 los costos de estos se duplicaron, comparados con los tres

with respect to tuber yield and quality, the mathematical functions were generated from it, obtaining R^2 values greater than 0.8. The methodology was successfully tested on two commercial plots.

Key words: growing degree-days, fertilization, self-adjusting functions.

Introduction

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the main food sources in the world after wheat, corn and rice (FAO, 2012). In Mexico, the states of Sinaloa and Sonora are the main producers of this crop; just in Sinaloa, 14 000 ha of potato are cultivated annually (22% of the national surface) (SIAP-SAGARPA, 2010). Since the implementation of the Free Trade Agreement (NAFTA) in Mexico, potato growers have had the need to be more efficient in order to improve their competitiveness, reduce production costs and adapt to the volatility of the market (Morales-Hernández *et al.*, 2011).

Potato cultivation requires large amounts of nutrients throughout its entire cycle, mainly nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) (White *et al.*, 2007); it is one of the most profitable vegetables, with high production costs that demand an excessive use of inputs (pesticides, water and fertilizers).

Bertsch (2003) reports that this crop absorbs 220, 20, 240, 60 and 20 kg ha⁻¹ of N, P, K, Ca and Mg, respectively, for a production of 20 t ha⁻¹, which shows the high nutritional requirements of this crop. According to Horneck and Rosen (2008), most of the absorption of N by the plant occurs before the period of maximum tuber growth and development, which means that before the tubers are filled, the plant consumes more than 50% of its N requirements, with a daily demand of 7 kg ha⁻¹-day; in the case of P, the demand fluctuates between 0.4 to 0.9 kg ha⁻¹-day at midcycle, depending on the variety and the climate. For K, the absorption is 5 to 14 kg ha⁻¹-day.

In addition to this, the continuous increase in the price of fertilizers such as urea (46-00-00) and monoammonium phosphate (11-52-00) is affecting the profitability of potato cultivation; in 2008 these costs doubled compared with the previous three years, and accounted for more

años anteriores y representaron más de 25 del costo total de producción en la mayoría de los cultivos, proporción que se ha mantenido actualmente (SAGARPA, 2008).

La fertilización tiene la función de suministrar nutrientes a los cultivos que no son aportados de manera natural por el suelo. Para una buena producción en términos de cantidad y calidad, usualmente los macronutrientos NPK, son aplicados al cultivo de papa cuando las reservas del suelo son limitadas (Ierna *et al.*, 2011), pero además, deben acoplarse con sus demandas, debido a ello, es importante conocer las curvas de absorción nutrimental (Bertsch, 2003).

Un manejo adecuado requiere además de conocer la fertilidad actual del suelo, asociarla con la demanda total y la tasa diaria de acumulación nutrimental del cultivo, las cuales están en función de la tasa de crecimiento, etapa fenológica, variedad, condiciones ambientales y meta de rendimiento; pero también, debe considerarse la rentabilidad y el impacto ambiental que causan los fertilizantes en suelo, agua y aire.

Antes de generar una curva de absorción se debe realizar una curva de crecimiento del cultivo en términos de peso seco para asociar la absorción con la producción de biomasa. Para el caso de la papa, cuando la planta emerge, el crecimiento de la parte aérea y el de las raíces es sincronizado, dos a cuatro semanas después de la emergencia inicia el crecimiento de los tubérculos y continúa durante un largo periodo de tiempo asociándose un retraso en el crecimiento de los tubérculos con un crecimiento excesivo de la biomasa aérea (Alonso, 2002). Al inicio la planta distribuye los productos de la fotosíntesis hacia todos los tejidos y al final hacia los tubérculos (Villalobos, 2001).

La acumulación total de materia seca es más rápida en el periodo de 40 a 100 días después de la siembra que corresponden a los periodos de inicio de tuberización y desarrollo del tubérculo; al final de la temporada los tubérculos registran hasta un 90 por ciento del peso seco total.

La fertilización no solo influye en el rendimiento sino también en la calidad del tubérculo; se ha encontrado que la gravedad específica (índice del contenido de almidón) del tubérculo depende del porcentaje y densidad de la materia seca así como del porcentaje del aire en tejidos (Talburt y Smith, 1967), pero disminuye al aumentar los niveles de NPK ya que esta es la que determina el contenido y la calidad del tubérculo (Kunkel y Holstad, 1972). Por otro lado, el

than 25% of the total cost of production in most crops, a percentage that has remained constant until the present (SAGARPA, 2008).

Fertilization has the function of supplying nutrients to the crop that are not provided naturally by the soil. To obtain a good production in terms of quantity and quality, NPK macronutrients are usually applied to potatoes when the soil reserves are limited (Ierna *et al.*, 2011); however, the application of these nutrients should be bound to their demand by potatoes; therefore, it is important to know the nutrient absorption curves (Bertsch, 2003).

Proper crop management also requires knowing the actual soil fertility and to associate it with the total nutrient demand and the daily rate of crop nutrient accumulation, which are a function of the rate of growth, the phenological stage, the variety, the environmental conditions and the target yield; but the profitability and the environmental impact caused by fertilizers in soil, water and air should also be considered.

A crop growth curve in terms of dry weight should be performed before generating an absorption curve in order to associate the absorption of biomass with its production. In the case of potato, after the plant emerges the growth of the aerial part and of the roots occurs in a synchronized way; the growth of the tubers starts two to four weeks after emergence and continues for a long period of time; a delay in the growth of the tubers is associated with an overgrowth of aerial biomass (Alonso, 2002). At the beginning, the plant distributes the products of photosynthesis to all tissues, and only at the end to the tubers (Villalobos, 2001).

Total dry matter accumulation is faster in the period of 40 to 100 days after sowing which corresponds to the tuber initiation and tuber development periods; at the end of the season, the tubers amount to up to 90 percent of the total dry weight.

Fertilization not only influences yield, but also tuber quality; it has been found that the specific gravity (starch content index) of the tuber depends on the percentage and density of the dry matter, as well as on the percentage of air in tissues (Talburt and Smith, 1967), but it decreases when NPK levels increase, since NPK is what determines the content and the quality of the tuber (Holstad Kunkel, 1972). On the other hand, the protein content of the tuber increases when the dose of N increases, while the dose of P affects the absorption rate of the oil used for French fries (Ozturk *et al.*, 2010); because

contenido proteico del tubérculo incrementa al aumentar la dosis de N mientras que la dosis de P afecta la tasa de absorción de aceite utilizado para papas fritas (Ozturk *et al.*, 2010); por lo anterior, se puede decir que el enfoque nutricional de los cultivos debe considerar el cómo, cuándo, cuánto y qué fuentes de fertilizantes son las más apropiadas y evitar el manejo de una forma generalizada.

Po otro lado, la alta variabilidad climática que se ha observado en los últimos años en México y particularmente el norte de Sinaloa, está ocasionando que el manejo tradicional de la nutrición de los cultivos sea cada vez menos funcional debido al efecto directo de la temperatura del aire en la tasa de desarrollo, periodos con altas temperaturas aceleran el desarrollo mientras que periodos con temperaturas bajas lo retrasan. Para el norte de Sinaloa, Ojeda-Bustamante *et al.* (2011) estimaron un incremento promedio anual de 1 °C para el norte de Sinaloa para el año 2020, con una consecuente reducción del ciclo de desarrollo de maíz y modificación del comportamiento de sus demandas hídricas tanto espacial como temporalmente.

Actualmente, la mayoría de las curvas de extracción nutrimental para el cultivo de papa son expresadas en función de días después de siembra o emergencia, aplicables solo en las fechas y localidades donde fueron determinadas, tal es el caso de las reportadas por Badillo (2001) y Cabalceta (2006). La aplicación del concepto grados día ($^{\circ}\text{D}$) ha demostrado ser una excelente herramienta para predecir la fenología de la papa en lugar de los días cronológicos permitiendo autoajustar el manejo del mismo (Arazi *et al.*, 1993; Kadaja, 2004; Ojeda-Bustamante *et al.*, 2004).

Ante el incremento acelerado de los precios de los fertilizantes, la presencia de sequías recurrentes, bajos grado de aprovechamiento de fertilizantes, contaminación de aguas superficiales y subterráneas por fertilizantes nitrogenados y fosfóricos (Ierna *et al.*, 2011) así como el incremento en la variabilidad climática, es imperante el manejo de la fertilización del cultivo de papa bajo estos nuevos escenarios.

En este contexto en el presente estudio se generó una metodología para acoplar en forma automática los requerimientos nutrimentales del cultivo de papa variedad Fianna a través de funciones matemáticas basadas en el concepto $^{\circ}\text{D}$ con el fin de lograr una fertilización precisa y eficiente.

of this, it could be said that the nutritional approach for crops should consider how, when, how much and which fertilizer sources are the most appropriate, and avoid managing the crop in general way.

Furthermore, the high climatic variability that has been observed in Mexico in recent years, particularly in the north of Sinaloa, is causing the traditional management of crop nutrition to become ever less functional due to the direct effect of air temperature on the rate of crop development; periods with high temperatures accelerate development while low temperature periods delay it. For the north of Sinaloa, Ojeda-Bustamante *et al.* (2011) estimated an average annual increase of 1 °C by 2020, with a consequent reduction in the corn development cycle and a modification of the behavior of its water demand, both spatial and temporal.

Currently, most nutrient extraction curves for potato cultivation are expressed in terms of days after planting or emergence and are applicable only on the dates and locations where they were determined, as is the case of the curves reported by Badillo (2001) and Cabalceta (2006). Applying the concept of degree-days ($^{\circ}\text{D}$) instead of chronological days has proven to be an excellent tool for predicting the phenology of potato, allowing the autoadjustment of its management (Arazi *et al.*, 1993; Kadaja, 2004; Ojeda-Bustamante *et al.*, 2004).

Given the rapid increase in fertilizer prices, the presence of recurrent droughts, the low degree of fertilizer uptake, the pollution of surface and subterranean waters by nitrogenous and phosphoric fertilizers (Ierna *et al.*, 2011), as well as the increase in climate variability, it is imperative to manage the fertilization of potato crops under these new scenarios.

In this context, the present study produced a methodology for automatically binding the nutritional requirements of the Fianna variety of potatoes through mathematical functions based on the concept of $^{\circ}\text{D}$ in order to achieve an accurate and efficient fertilization.

Materials and methods

The work was conducted over two autumn-winter agricultural cycles (AW), 2008-2009 and 2009-2010, in the Experimental Field of Valle del Fuerte (CEVAF) of

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló durante dos ciclos agrícolas otoño-invierno (OI): 2008-2009 y 2009-2010, en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) del INIFAP, ubicado en el norte de Sinaloa en la parte central del distrito de riego 075 (Río Fuerte) colindando con los distritos 063 (Guasave) y 076 (Valle del Carrizo), en los $25^{\circ} 45' 49''$ latitud norte y $108^{\circ} 51' 41''$ longitud oeste a una altura de 32 msnm. El suelo típico de la zona es de textura arcillosa con una humedad volumétrica aprovechable de $0.155 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Durante el ciclo 2008-2009 se generaron las primeras curvas base (CB) NPK para la variedad Alpha en riego por goteo, tomando como referencia las obtenidas por Badillo *et al.* (2001).

En el ciclo 2009-2010 se estableció un experimento en riego por superficie con tres tratamientos (T) en un diseño experimental en bloques completamente al azar con tres repeticiones, utilizando la variedad Fiamma. Cada tratamiento se estableció en parcelas de 384 m^2 , ocho surcos de 60 m de longitud separados a 80 cm, con una densidad de siembra de $43\,750 \text{ semillas ha}^{-1}$ (3.5 semillas por metro lineal) a una profundidad de 15 cm.

Previo a la siembra se realizó un muestreo de suelo a 30 cm de profundidad para conocer su nivel de fertilidad y proceder a calcular las dosis nutrimentales en cada tratamiento utilizando la siguiente ecuación (INIFAP, 2005).

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Demanda - Suministro}}{\text{Eficiencia}}$$

Donde: demanda, representa el consumo diario de cada nutriente (kg ha^{-1}), suministro se refiere al aporte nutrimental del suelo en (kg ha^{-1}), estimado a partir del análisis del mismo y Eficiencia al grado de aprovechamiento del nutriente que depende del sistema de riego, suelo, fuente de fertilizantes y su valor oscila de 0 a 100%.

El T1 consistió en fertilizar de acuerdo a las CB obtenidas en el ciclo 2008-2009; es decir, $245, 30, 350 \text{ kg ha}^{-1}$ de NPK respectivamente, el T2 se fertilizó de acuerdo a las CB más un incremento de 20% ($294, 36, 420 \text{ kg ha}^{-1}$ de NPK) y el T3 de acuerdo a la misma CB con una reducción de 20% ($196, 24, 280 \text{ kg ha}^{-1}$ de NPK). La fecha de siembra fue el 11 de

INIFAP, located in northern Sinaloa in the central part of the irrigation district 075 (Río Fuerte), adjacent to the districts 063 (Guasave) and 076 (Valle del Carrizo), at $25^{\circ} 45' 49''$ N and $108^{\circ} 51' 41''$ W and a height of 32 masl. The typical local soil is clayey with an exploitable volumetric moisture of $0.155 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

The first NPK base curves (BC) were generated during the 2008-2009 cycle for the Alpha variety under drip irrigation, taking as reference those obtained by Badillo *et al.* (2001).

An experiment for surface irrigation was established in the 2009-2010 cycle with three treatments (T) in a randomized complete block experimental design with three replicates, using the Fiamma variety. Each treatment was established in 384 m^2 plots with eight furrows of 60 m in length spaced at 80 cm, with a seeding density of $43\,750 \text{ seeds ha}^{-1}$ (3.5 seeds per linear meter) to a depth of 15 cm.

A soil sampling at a depth of 30 cm was conducted before sowing in order to know the fertility level of the soil and to calculate the nutritional dosages for each treatment using the following equation (INIFAP, 2005).

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Demanda - Suministro}}{\text{Eficiencia}}$$

Where: demand represents the daily intake of each nutrient (kg ha^{-1}); supply refers to soil nutrient input (kg ha^{-1}), estimated from the analysis of the soil; and efficiency refers to the degree of utilization of the nutrient that depends on the irrigation system, the soil and the fertilizer source; its value ranges from 0 to 100%.

T1 consisted in fertilizing according to the BC obtained in 2008-2009, that is, $245, 30, 350 \text{ kg ha}^{-1}$ of NPK respectively; with T2 the soil was fertilized according to the BC plus an additional 20% ($294, 36, 420 \text{ kg ha}^{-1}$ of NPK); and with T3 the fertilization was done according to the same BC minus 20% ($196, 24, 280 \text{ kg ha}^{-1}$ of NPK). The sowing date was 11/11/09, reaching commercial maturity on 23/02/2010, at which time the plants were defoliated; harvest took place on 13, March, 2010.

To estimate the total daily extraction of NPK by the crop, vegetation (destructive samplings) and laboratory analyzes were performed in each treatment on the different organs of the plants (leaves, stems, roots and tubers) from 36 days after sowing (DAS), or 658 °DA, in sampling sites

noviembre de 2009 alcanzando su madurez comercial el 23 de febrero de 2010 fecha en que se defolió; la cosecha se llevó a cabo el 13 de marzo de 2010

Para estimar la extracción diaria y total de NPK del cultivo, en cada tratamiento se realizaron análisis vegetativos (muestreos destructivos) y de laboratorio de los diferentes órganos de la planta (hojas, tallos, raíz y tubérculos) a partir de los 36 días después de siembra (DDS) o 658 °DA, en sitios de muestreo de 0.8 m² a intervalos de 15 días durante toda la estación de crecimiento. Las técnicas utilizadas en laboratorio fueron: Nessler Microkheldal, ácido ascórbico, tetrafenilborato y reducción de cadmio para N, P, K y nitratos (NO₃) respectivamente.

Las condiciones climáticas fueron monitoreadas con una estación meteorológica automatizada ubicada a 50 m de la parcela experimental, de la cual se obtuvieron los valores de temperatura a intervalos de 15 minutos para calcular los °DA mediante las siguientes ecuaciones (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006).

$$\begin{aligned} ^\circ\text{DA} &= T_a - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a < T_{c\text{-max}} \\ ^\circ\text{DA} &= T_{c\text{-max}} - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a \geq T_{c\text{-max}} \\ ^\circ\text{DA} &= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c\text{-min}} \end{aligned}$$

Donde T_a es la temperatura media diaria del aire (°C), T_{c-min} y T_{c-max} representan las temperaturas umbrales mínima y máxima del cultivo, las cuales son 2 y 29 °C respectivamente para el cultivo de papa. Los °DA están relacionados con la aparición de cada fase de desarrollo del cultivo y pueden tener un valor predictivo de la fenología de estos (Sifuentes *et al.*, 2010).

La programación de los riegos se realizó con el método del balance hídrico a través del software IrriModel 1.0 (Sifuentes *et al.*, 2012), utilizando un modelo integral de programación del riego calibrado localmente para el cultivo de papa, el cual estima la variación de la humedad del suelo en la zona radical integrando parámetros de suelo, planta y clima utilizando el concepto °D. El manejo agronómico del cultivo incluyó el control de malezas, plagas y enfermedades.

Al final del ciclo se cosecharon únicamente los cuatro surcos centrales de cada unidad experimental (16 m²) para evaluar el rendimiento y la calidad de tubérculos donde los resultados obtenidos fueron sujetos a un análisis de varianza.

La metodología se validó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2010-2011 en una parcela comercial identificada como lateral 18, localizada en el módulo de Riego Santa

of 0.8 m² at intervals of 15 days throughout the growing season. The techniques used in the laboratory were: Nessler Microkheldal, ascorbic acid, tetraphenylborate and cadmium reduction for N, P, K and nitrates (NO³) respectively.

Climatic conditions were monitored with an automated weather station located 50 m from the plot, from which temperature values were obtained at intervals of 15 minutes to calculate the °DA by the following equations (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006).

$$\begin{aligned} ^\circ\text{DA} &= T_a - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a < T_{c\text{-max}} \\ ^\circ\text{DA} &= T_{c\text{-max}} - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a \geq T_{c\text{-max}} \\ ^\circ\text{DA} &= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c\text{-min}} \end{aligned}$$

Where T_a is the mean daily air temperature (°C), and T_{c-min} and T_{c-max} represent the minimum and maximum threshold temperatures of the potato crop, which are 2 and 29 °C respectively. The °DA are related to the occurrence of each stage of crop development and may have a predictive value for the phenology of the crop (Sifuentes *et al.*, 2010).

The scheduling of irrigations was done with the water balance method through the IrriModel 1.0 software (Sifuentes *et al.*, 2012), using a comprehensive irrigation scheduling model locally calibrated for the potato crop, which estimates the change in soil moisture in the root zone, integrating parameters of the soil, plant and climate and using the concept of °D. The agronomic crop management included the control of weeds, pests and diseases.

At the end of the cycle only the four central furrows of each experimental unit (16 m²) were harvested to evaluate the yield and quality of the tubers; the obtained results were subjected to an analysis of variance.

The methodology was validated during the autumn-winter agricultural cycle of 2010-2011 on a commercial plot identified as lateral 18, located in the Santa Rosa irrigation module of the irrigation district 075 in the municipality of El Fuerte, Sinaloa. The analysis of the soil of this plot reported the following values: 0.7% organic matter, 0.0023% nitrogen, 0.0009% phosphorus, 0.0275% potassium, 0.4660% calcium, 0.0684% magnesium, 0.0005% iron and 0.0030% sulfur; the nutrient doses obtained in the best treatment (T2) were subsequently applied to this soil. The fertilizer sources that were used in this plot were MAP, urea, potassium sulfate and calcium nitrate.

Rosa del DR 075 en el municipio de El Fuerte, Sinaloa. El análisis de suelo de dicho lote reportó los siguientes valores: materia orgánica 0.7%, nitrógeno 0.0023%, fósforo 0.0009%, potasio 0.0275%, calcio 0.4660%, magnesio 0.0684%, fierro 0.0005% y azufre 0.0030%; donde posteriormente se aplicaron las dosis de nutrientes obtenidas en el mejor tratamiento (T2). Las fuentes de fertilizantes que se utilizaron en esta parcela fueron MAP, urea, sulfato de potasio y nitrato de calcio.

Resultados y discusión

Curvas de extracción nutrimental base

Las curvas de extracción obtenidas en el ciclo otoño-invierno 2008-2009 para la variedad Alpha y que fueron usadas como CB en el experimento establecido en el ciclo otoño-invierno 2009-2010 se presenta en la Figura 1, se observa que los valores máximos para la extracción total acumulada del cultivo fue de 245, 30, 350 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente.

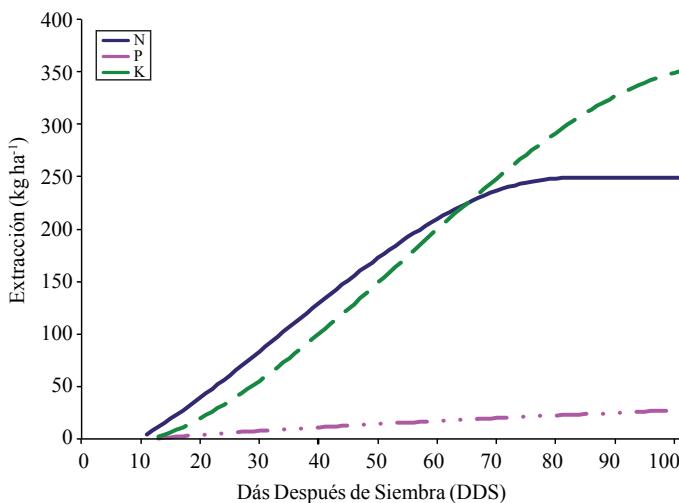


Figura 1. Extracción de NPK del cultivo de papa variedad Alpha utilizada como curva base (CB), obtenida en el ciclo otoño-invierno 2008-2009 en el norte de Sinaloa.

Figure 1. Extraction of NPK by the Alpha potato variety of potatoes used as base curve (BC); obtained in the autumn-winter cycle of 2008-2009 in northern Sinaloa.

Curvas de extracción nutrimental para variabilidad climática

En el ciclo otoño-invierno 2009-2010 para la variedad Fianna se generaron las curvas de extracción para los tres tratamientos. En la Figura 2 se puede observar que en T1 la

Results and discussion

Base curves of nutrient extraction

The extraction curves obtained during the autumn-winter cycle of 2008-2009 for the Alpha variety and that were used as BC in the experiment established in the autumn-winter cycle of 2009-2010 are presented in Figure 1; it can be seen that the peak values for the total accumulated extraction by the crop were 245, 30, 350 kg ha⁻¹ of NPK respectively.

Nutrient extraction curves for climate variability

Extraction curves for the three treatments were generated in the autumn-winter cycle of 2009-2010 for the Fianna variety. Figure 2 shows that in T1 the total extraction by the crop was 250, 30 and 350 kg ha⁻¹ of NPK respectively. A strong increase of N and K at 1100 °DA can also be seen, corresponding to the tuber development stage. The results obtained by Badillo (2001) are similar to those obtained in this curve, specifically with respect to the absorption pattern and the nutritional requirements for this crop.

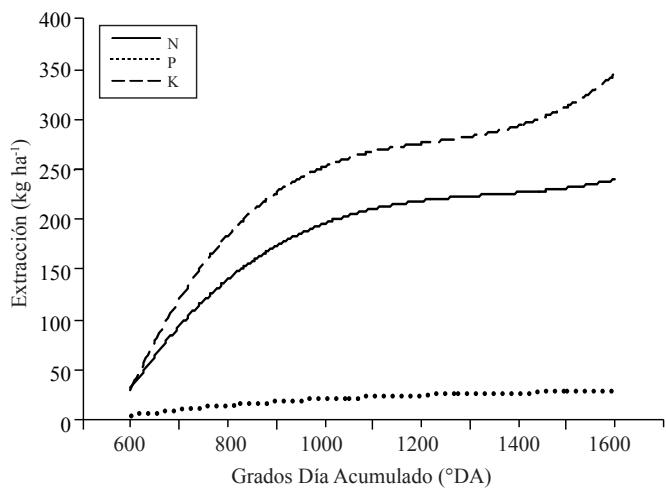


Figura 2. Patrón de absorción NPK acumulada para el tratamiento 1.

Figure 2. Accumulated NPK absorption pattern for treatment 1.

For T2 (Figure 3), the maximum demand of NPK occurs between 1100 and 1300 °DA, when the crop extracted a total of 270, 30 and 300 kg ha⁻¹ of NPK, respectively, corresponding to the tuber development stage.

extracción total del cultivo fue 250, 30 y 350 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente. También se observa un fuerte incremento de N y K a los 1100 °DA que corresponde al desarrollo de tuberización. Los resultados obtenidas por Badillo (2001) son similares a las obtenidas en esta curva, específicamente en el patrón de absorción y requerimientos nutrimientales para este cultivo.

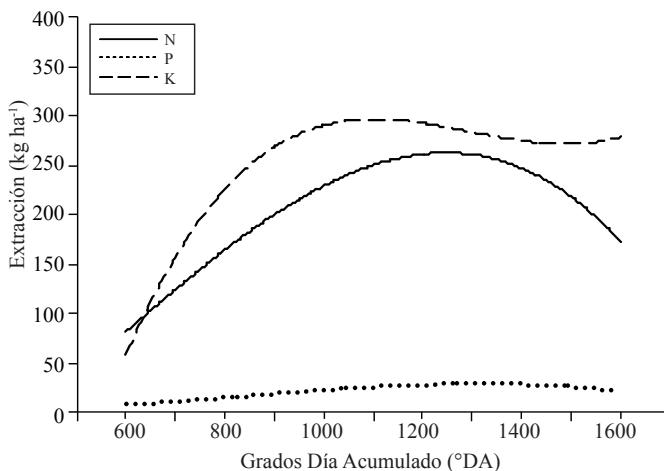


Figura 3. Patrón de absorción de NPK acumulada para el tratamiento 2.

Figure 3. Accumulated NPK absorption pattern for treatment 2.

Para T2 (Figura 3) se observa que la máxima demanda de NPK está comprendida en los 1100 y 1300 °DA donde el cultivo extrajo un total de 270, 30 y 300 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente correspondiendo a la etapa de desarrollo de tuberización.

Para T3 (Figura 4) el cultivo extrajo un total de 225, 25 y 340 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente, también se puede notar que el proceso de absorción de N y K fue incrementando uniformemente desde la emergencia hasta los 1100 °DA y a partir de los 1300 °DA fue la máxima demanda.

En los tres tratamientos se observó que la tasa de absorción de N estuvo en función del suministro de este nutriente y de la etapa fenológica del cultivo. El suministro suficiente de N en forma de NH₄⁺ y NO₃⁻ depende de la cantidad mineralizada del N orgánico total y de otros factores incluyendo la propia mineralización, inmovilización y pérdidas.

El P en los tres casos es el elemento de menor absorción debido a su lenta disposición y a la capacidad del mismo para precipitarse. En cada tratamiento la absorción se

For T3 (Figure 4), the crop extracted a total of 225, 25 and 340 kg ha⁻¹ of NPK respectively; it can also be noted that the process of absorption of N and K increased uniformly from the emergence up to 1100 °DA and that the peak demand occurred after 1300 °DA.

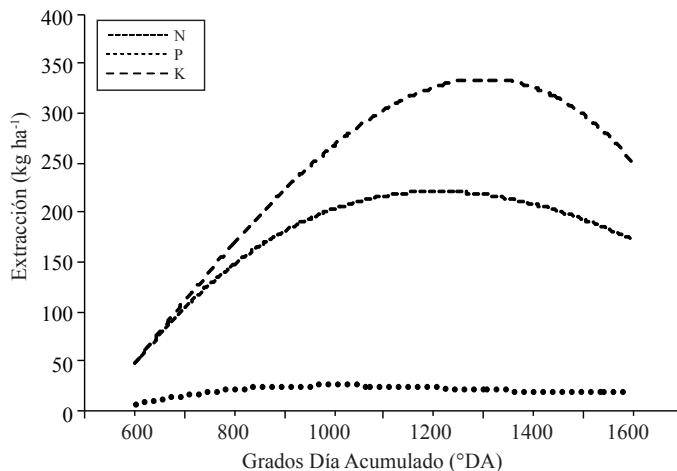


Figura 4. Patrón de absorción de NPK acumulada para el tratamiento 3.

Figure 4. Accumulated NPK absorption pattern for treatment 3.

It was observed in the three treatments that the absorption rate of N was a function of the supply of this nutrient and of the phenological stage of the crop. The sufficient supply of N in the form of NH₄⁺ and NO₃⁻ depends on the amount of total organic N mineralized and on other factors such as mineralization, immobilization and losses.

In the three cases, P was the least absorbed element due to its slow disposition and its capacity to be precipitated. In each treatment, absorption remained almost constant throughout the crop cycle, mainly due to the absorption capacity of the crop, which varies greatly even with varieties of the same species, a characteristic that is controlled by the genotype, as mentioned by Brown (1977). Other causes are attributed to the differences in root development, associations with fungi and carbon dioxide excretion by the roots. PH and temperature are also factors which control the absorption of P; low temperatures reduce its activity in soil and plant; the variations of pH strongly affect the solubility of this mineral (Tisdale *et al.*, 2005).

Unlike N and K, P had an absorption rate very similar to that of nitrogen; this means that it also depends on the stage, supply and mobility.

mantuvo casi constante durante todo el ciclo del cultivo debido principalmente a la capacidad de absorción de este, la cual varía considerablemente incluso con variedades de la misma especie, característica que está controlada por el genotipo como lo menciona Brown (1977). Otras causas son atribuidas a las diferencias en el desarrollo radical, las asociaciones con hongos y la excreción de anhídrido carbónico por las raíces. La temperatura y pH también son factores que controlan la absorción de P, bajas temperaturas reducen su actividad dentro de suelo y planta; la variación del pH en el suelo afecta fuertemente la solubilidad del mineral (Tisdale *et al.*, 2005).

A diferencia de N y K, el K tuvo una tasa de absorción muy similar a la del nitrógeno, esto significa que también está en función de la etapa, suministro y movilidad.

Análisis de extracción nutrimental diaria para T2

Se presenta un análisis del comportamiento de la extracción nutrimental diaria de T2, el cual fue el mejor en términos de rendimiento y calidad. En la Figura 5 se muestra de manera individual la máxima absorción de N por kg ha⁻¹-día, se puede observar que a los 1 100 °DA en la etapa de tuberización, se presenta la máxima demanda de nitrógeno teniendo un consumo de 20 kg día⁻¹ y vuelve a incrementar a los 1 600 °DA que corresponde a la etapa de tubérculos desarrollados.

La Figura 6 muestra el comportamiento del K absorbido por °DA para este tratamiento. Debido al patrón de absorción, se puede observar que la máxima demanda se presenta a los 1 000 °DA con un consumo de 0.3 kg ha⁻¹. Posteriormente se observa una declinación a los 1 300 °DA con un incremento subsecuente, lo cual explica la translocación de este nutriente a los órganos de almacenamiento (tubérculos), estos resultados son consistentes a los obtenidos por (Cabalceta *et al.*, 2006).

La Figura 7 presenta la curva de extracción nutrimental diaria en función de los °DA para NPK, se puede observar que la demanda diaria de N aumenta gradualmente desde la etapa inicial manteniéndose relativamente constante hasta el inicio de la tuberización (It), con un ligero incremento en la etapa de desarrollo de tubérculos (Dt). En el caso del P la absorción es lenta a medida que la planta pasa de una etapa fenológica a otra, alcanzando su absorción máxima en las etapas de It y desarrollo del tubérculo (Dt).

Con respecto al K se observa una tendencia muy similar a la del N, donde la demanda se incrementa desde la etapa de emergencia (E) alcanzando su máxima absorción

Analysis of the daily nutrient extraction for T2

An analysis of the daily nutrient extraction behavior of T2, which was the best treatment in terms of yield and quality. Figure 5 shows the individual maximum absorption of N per kg ha⁻¹-day; it can be seen that the peak demand of nitrogen occurs at 1 100 °DA, in the tuber development stage, with an intake of 20 kg day⁻¹, and it increases again at 1 600 °DA, corresponding to the stage of developed tubers.

Figure 6 shows the behavior of the K absorbed per °DA for this treatment. Due to the absorption pattern, it can be seen that the peak demand occurs at 1 000 °DA with a consumption of 0.3 kg ha⁻¹. Later, there was a decline at 1 300 °DA, with a subsequent increase, which explains the translocation of this nutrient to the storage organs (tubers); these results are consistent with those obtained by Cabalceta *et al.*, 2006.

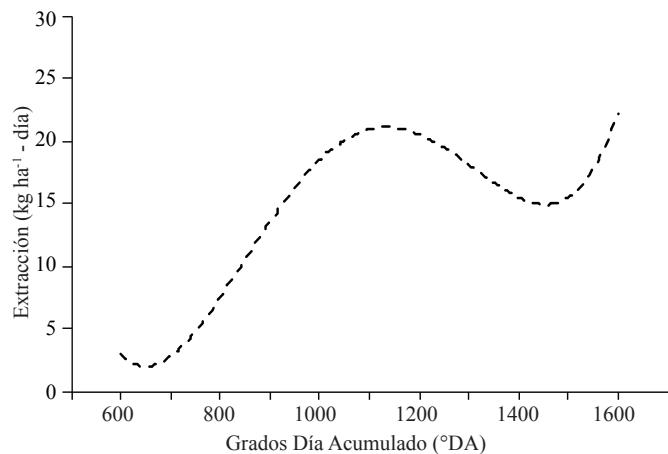


Figura 5. Nitrógeno absorbido en kg ha⁻¹-día en el tratamiento 2.
Figure 5. Nitrogen absorbed in kg ha⁻¹ day with treatment 2.

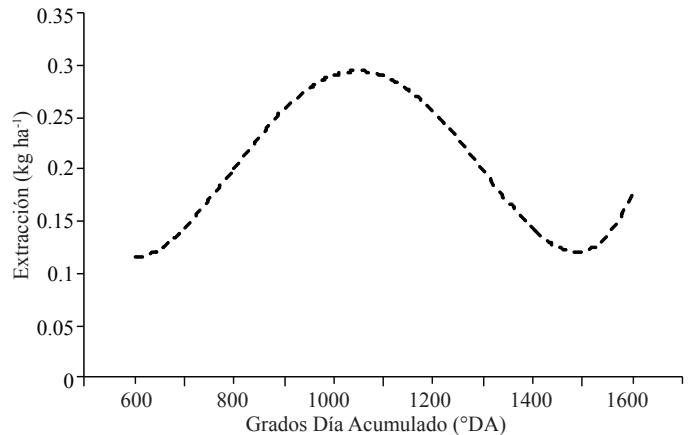
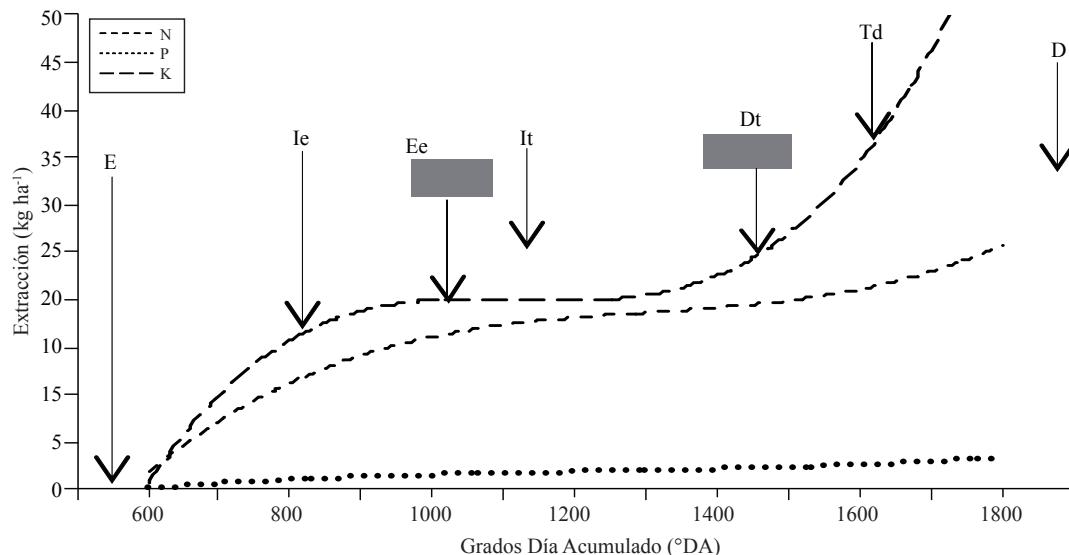


Figura 6. Potasio absorbido por grado día acumulado (°DA) en el tratamiento 2.
Figure 6. Potassium absorbed accumulated per accumulated degree-day (°DA) in treatment 2.

desde la etapa de Ie hasta la It, la cual posteriormente se incrementa en la etapa de Dt debido a la translocación hacia él tubérculo.



E=emergencia; Ie=inicio de estolonización; Ee=elongación de estolones; It=inicio de tuberización; Dt=desarrollo de tubérculos; Td=tubérculos desarrollados; D=desvare.

Figura 7. Curva de extracción diaria de NPK asociadas a la etapa de crecimiento del cultivo y °DA a partir de siembra para papa var. Fianna.

Figure 7. Daily extraction curve of NPK associated with crop growth stage and °DA from sowing for potato var. Fianna.

Análisis de rendimiento y calidad

El rendimiento obtenido en cada tratamiento se presenta en la Figura 8, se observa un valor máximo de 43.04 t ha^{-1} para T2, mientras que para T1 y T3 fueron 37.33 t ha^{-1} y 37.67 t ha^{-1} respectivamente, lo cual indica una respuesta positiva a la adición del 20 por ciento de NPK a la CB.

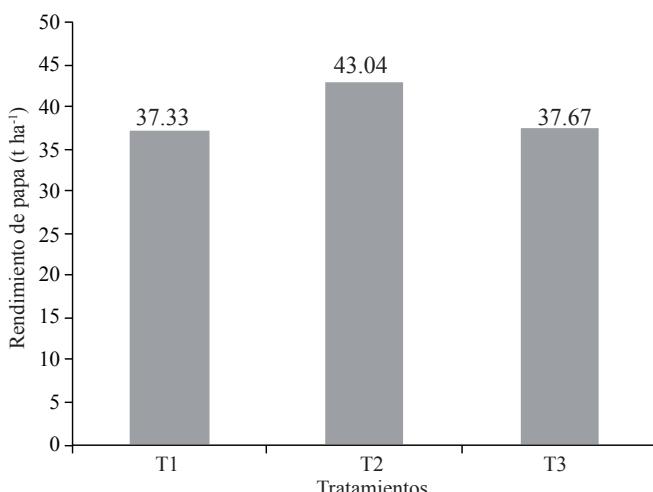
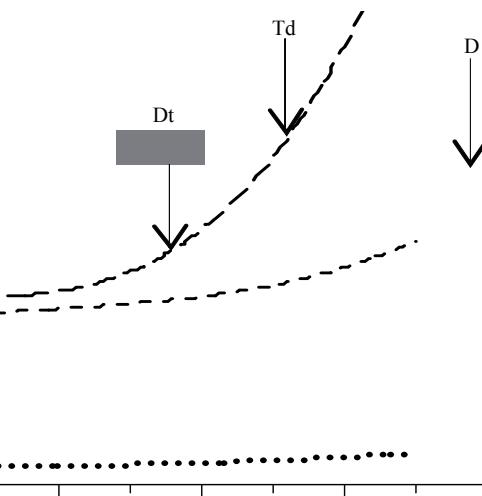


Figura 8. Rendimiento obtenido del cultivo de papa y la prueba de medias entre tratamientos.

Figure 8. Yield obtained from potato crop and test of the means between treatments.

Figure 7 shows the daily nutrient extraction curve as a function of °DA for NPK; it can be seen that the daily demand of N increases gradually from the initial stage,



remaining relatively constant until tuber initiation (It), with a slight increase in the tuber development stage (Dt). In the case of P, the absorption is slow as the plant passes from one phenological stage to another, reaching its maximum absorption in the stages of It and of tuber development (Dt).

A trend very similar to that of N is observed with respect to K, where demand starts increasing in the emergence stage (E) and reaches peak absorption in the period from the Ie stage to the It stage, subsequently increasing in the Dt stage due to translocation to the tuber.

Analysis of yield and quality

The yield obtained in each treatment is shown in Figure 8; there is a maximum value of 43.04 t ha^{-1} for T2, while for T1 and T3 the values were 37.33 and 37.67 t ha^{-1} respectively, indicating a positive response to the addition of 20 percent of NPK to the BC.

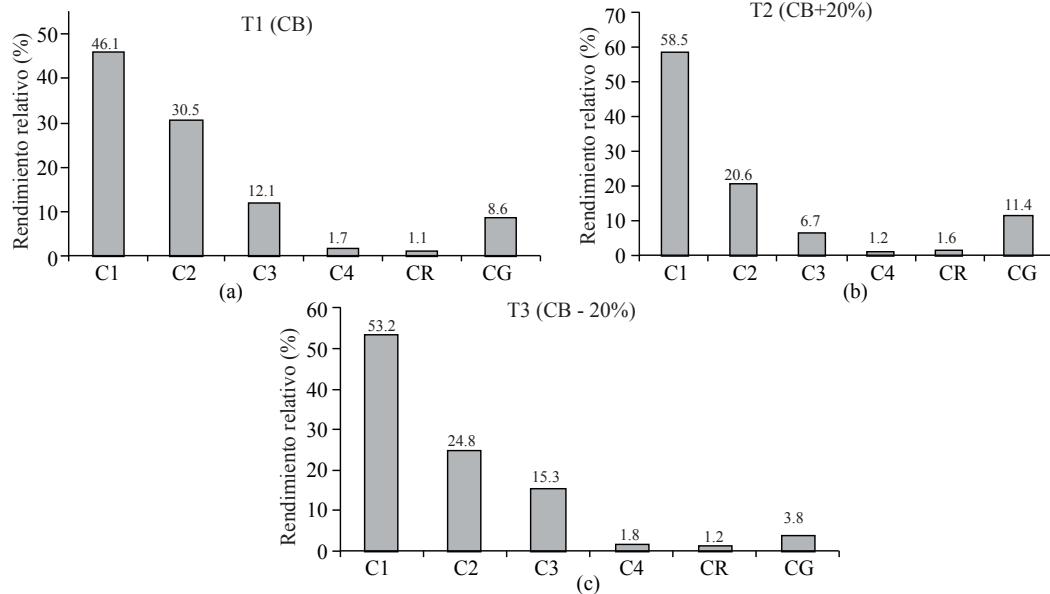
The quality of the harvest for the three treatments is presented in Table 1; according to the Tukey test for comparison of means, there were significant differences between treatments ($p > 0.05$).

La calidad de la cosecha se presenta en la Cuadro 1 para los tres tratamientos, de acuerdo a la prueba Tukey de comparación de medias existió diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$).

Al igual que en rendimiento, en la variable calidad, el mejor tratamiento fue T2, obteniéndose diferencia significativa en las calidades C1 y C2, con 58 y 20.6 por ciento respectivamente (Figura 9).

Modelos de extracción nutrimental para variabilidad climática

En el Cuadro 2 se presentan las funciones matemáticas para las curvas de extracción NPK de cada tratamiento, donde la variable x representa los °DA. Se puede observar una R^2 mayor a 0.8, excepto en el de N del T1 que es de 0.73, lo cual indica que estos modelos tienen un gran valor predictivo como herramienta para ajustar las demandas nutrimetnales a las diferentes etapas fenológicas de la planta bajo condiciones variables de clima permitiendo realizar una mejor planeación de la fertilización.



C1= primera; C2= segunda; C3= tercera; C4= cuarta; CR= rezaga; CG= gigantes; TT=total de tubérculos.

Figura 9. Calidad de tubérculos para T1 (a), T2 (b) y T3 (c) y la prueba de medias.

Figure 9. Quality of tubers for T1 (a), T2 (b) and T3 (c) and means test.

Riegos aplicados y fenología

Los riegos aplicados fueron seis con un requerimiento de riego total (lámina neta total) de 36.3 cm y láminas requeridas en cada riego de 5.61 a 6.3 cm. La lámina

Cuadro 1. Prueba de comparación de medias en calidad de tubérculo, variedad Fianna ($t \text{ ha}^{-1}$).

Table 1. Mean comparison test for tuber quality, variety Fianna ($t \text{ ha}^{-1}$).

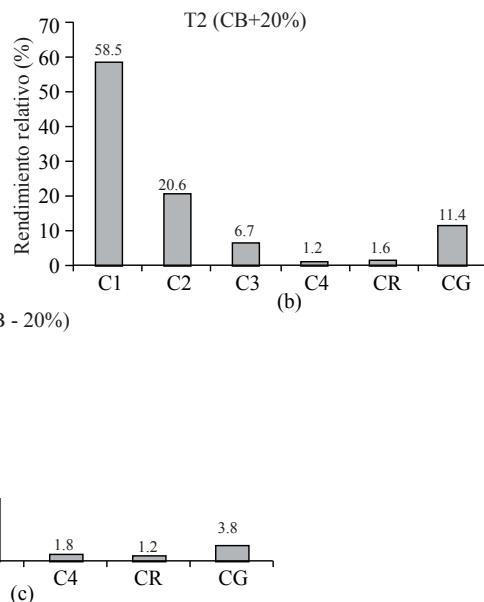
Tratamiento	C1	C2	C3	C4	CR	CG	TT
T1	17.2 b	11.4 a	4.5 a	3.1 a	3.1 a	3.2 a	37 a
T2	25.1 a	8.9 b	2.9 a	0.5 a	0.7 a	4.9 a	43 a
T3	20 b	9.3 ab	5.7 a	0.7 a	0.5 a	1.9 a	38 a

T1= tratamiento 1; T2= tratamiento 2; T3=tratamiento 3; C1= primera, C2= segunda, C3= tercera; C4= cuarta, CR= rezaga, CG= gigantes; TT= total de tubérculos. Nota: medias seguidas por la misma letra dentro de una columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

As for yield, the best treatment according to the quality variable was T2; a significant difference was obtained between the qualities C1 and C2, 58 and 20.6 percent, respectively (Figure 9).

Nutrient extraction models for climate variability

Table 2 shows the mathematical functions for the extraction curves of NPK for each treatment, where the variable x represents °DA. An R^2 higher than 0.8 can be observed,



except for N in T1, which was 0.73, indicating that these models have a high predictive value as a tool to adjust the nutritional demands to the different phenological stages of the plant under variable climatic conditions, allowing a better planning of fertilization.

bruta total (lámina aplicada) fue de 57.6 cm con una eficiencia promedio de 65.2 por ciento. La lámina bruta del primer riego incluye la lámina aplicada en el riego de germinación al momento de la siembra (Cuadro 3).

Cuadro 2. Funciones para autoajuste de la demanda NPK a la variabilidad climática del cultivo de papa (var. Fianna), en el Valle del Fuerte, Sinaloa, México.

Table 2. Functions for autoadjusting the demand of NPK of the potato crop (cv. Fianna) to climate variability in Valle del Fuerte, Sinaloa, Mexico.

Tratamientos	Nutrimiento	Funciones	R ²
Tratamiento 1 (Base)	N	$N = 6E-08x^3 - 0.0005x^2 + 1.1644x - 520.76$	R ² = 0.7345
	P	$P = 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0.0984x - 44.292$	R ² = 0.8091
	K	$K = 6E-07x^3 - 0.0023x^2 + 3.204x - 1247.9$	R ² = 0.8041
Tratamiento 2 (+20%)	N	$N = -6E-07x^3 + 0.0015x^2 - 0.9302x + 222.72$	R ² = 0.9728
	P	$P = -8E-08x^3 + 0.0002x^2 - 0.1925x + 56.182$	R ² = 0.9705
	K	$K = 5E-07x^3 - 0.0023x^2 + 3.4184x - 1326.2$	R ² = 0.8308
Tratamiento 3 (-20%)	N	$N = -7E-08x^3 - 0.0002x^2 + 0.8303x - 399.21$	R ² = 0.9288
	P	$P = 9E-08x^3 - 0.0003x^2 + 0.4564x - 168.08$	R ² = 0.9436
	K	$K = -6E-07x^3 + 0.0015x^2 - 0.7965x + 81.236$	R ² = 0.995

x = variable que representa los grados día acumulados (°DA) a partir de la siembra

Cuadro 3. Riegos aplicados y fenología para el cultivo de papa variedad Fianna para el Valle del Fuerte, Sinaloa, México.

Table 3. Irrigation applied and phenology of potato crop, Fianna variety, in Valle del Fuerte, Sinaloa, Mexico.

Número de riego	Días al riego	Intervalo (días)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	°DA	Etapa
*1	0-36	0-36	5.6	13.7	659	Siembra a emergencia (E)
2	55	19	5.9	9.5	857	Inicio de estolonización (Ie)
3	69	14	6.1	8.6	1125	Elongación de estolones (Ee)
4	82	13	6.1	8.6	1293	Inicio de tuberización (diámetro > 1 cm) (It)
5	97	15	6.3	8.6	1543	Desarrollo de tubérculos (diámetro > 5 cm) (Dt)
6	110	13	6.3	8.6	1674	Tubérculos desarrollados (diámetro > 5 cm) (Td)
Total	110	13-36	36.3	57.6	1674	

*Incluye la lámina aplicada para germinación al momento de la siembra.

Conclusiones

La extracción total de NPK fue similar para los tres tratamientos. Sin embargo, la tasa de absorción fue diferente para el T2 encontrándose mayor absorción en etapas iniciales del cultivo como inicio de estolonización y elongación de estolones. La generación de las curvas de absorción nutrimental para el cultivo de papa variedad Fianna para el Valle del Fuerte ajustaron los datos experimentales de modelos no lineales en función de grados día acumulados °DA obteniendo buen ajuste con coeficiente de determinación

gross film (applied film of water) was 57.6 cm with an average efficiency of 65.2 percent. The gross film of the first irrigation includes the film applied for germination irrigation at planting time (Table 3).

Conclusions

Total extraction of NPK was similar for all three treatments. However, the absorption rate was different for T2, with greater absorption in the early stages of the crop such as the start of stolonization start and the elongation of stolons.

(R^2) mayores a 0.8, el incremento de rendimiento del T2 (43 t ha⁻¹) con respecto al T1 (37 t ha⁻¹) y T3 (37.5 t ha⁻¹) fue de 14 por ciento y con un incremento en tubérculos de primera clase. Las funciones obtenidas permiten predecir la demanda total por etapa en función de grados día crecimiento, por consecuencia dichos modelos pueden ser aplicados para programar la aplicación de fertilizantes NPK en el cultivo de papa bajo condiciones de variabilidad climática.

Literatura citada

- Alonso, A. F. 2002. El cultivo de la patata. 2^{da} (Ed.). Editorial Mundiprensa. Barcelona. 494 p.
- Arazi, Y.; Wolf, S. and Marani, A. 1993. A prediction of developmental stages in potato plants based on the accumulation of heat units. Agric. Systems 43:35-50
- Badillo, T. V.; Castellanos, J.; Sánchez, G. P.; Galves, S. A.; Álvarez, S. E.; González, E. D. y Enríquez, S.A. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa var. Alpha. Agrociencia. 35:615-623.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307p.
- Brown, J. C. 1977. Efficient and inefficient use of phosphorus by sorghum. Soil Sci. Society Am. J. 41(4):747-750.
- Cabalceta, G.; Saldías, M. y Alvarado, A. 2006. Absorción de nutrientes en el cultivar de papa MNF-80. Agronomía Costarricense. 29(3):107-123.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2012. Statistical Yearbook 2012 World Food and Agriculture. Food Agricultural Organization of The United Nations. 366 p.
- Horneck, D. and Rosen, C. 2008. Measuring nutrients accumulation rates of potatoes too for better management. 92:1- 4.
- Ierna, A.; Pandino, G.; Lombardo, S.; Mauromicale, G. 2011. Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. Agricultural Water Management 101:35-41.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2005. La fertilización en los cultivos de maíz y trigo en México. Centro de Investigación Regional del Centro y Campo Experimental Bajío. Folleto técnico núm. 1. Celaya, Guanajuato, México. 43- 32 pp.
- Kadaja, J. 2004. Influence of fertilization on potato growth functions. Agron Res. 2:49-55.
- Kunkel, R. and Holstad, N. 1972. Potato chip color, specific gravity and fertilization of potato with N-P-K. Am J. Potato Res 49:43-62.
- Morales, H. J. L.; Hernández, M. J.; Rebollar, R. S. y Guzmán, S. E. 2011. Costos de producción y competitividad del cultivo de la papa en el estado de México. Agronomía Mesoamericana. 22:339-349.
- For the generation of nutrient absorption curves for the potato crop (Fianna variety) in Valle del Fuerte, data from nonlinear models was fitted in terms of accumulated degree-days °DA, obtaining a good fit with coefficients of determination (R^2) higher than 0.8; the increase in yield with T2 (43 t ha⁻¹) compared to T1 (37 t ha⁻¹) and T3 (37.5 t ha⁻¹) was of 14%, with an increase in first quality tubers. The functions obtained allow to predict the total demand function per stage in terms of growing degree days; consequently, such models can be applied to schedule the application of NPK fertilizers to potato crops under conditions of climate variability.

End of the English version



- Ozturk, E.; Kavurmaci, Z.; Kara, K. and Polat, T. 2010. The effects of different nitrogen and phosphorous rates on some quality traits of potato. Potato Res. 53:309-312.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes E. I.; Slack, D. C. and Carrillo, M. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree day concept: application to a potato crop. Irrigation and drainage. 53:251-261.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E. y Unland, W. H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. Agrociencia. 40:13-25.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Íñiguez, C. M. y Montero, M. M. J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. Agrociencia. 45:1-11.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2010. Disponible en www.siap.gob.mx.
- Sifuentes, I. E.; Ojeda, B. W.; Quintana, Q. J. G. y Macías, C. J. 2010. Jornada sobre impacto y adaptación al cambio climático de la agricultura del estado de Sinaloa. Memoria técnica. Los Mochis Sinaloa México.63 p.
- Sifuentes, I. E.; Macías, C. J.; Quintana, Q. J. G y González, C. V. M. 2012. IrriModel 1.0: programación integral y gestión del riego a través de internet. Folletotécnico:INIFAP-CIRNO-CEVAF: 52 p.
- Talburt, W. and Smith, O. 1967. Potato processing. 4th (Ed.). AVI Publishing Company, California. 588.
- Tisdale, S.; Havlin, J.; Beaton, J.; Nelson, W. 2005. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 7th ed. Upper Saddle River, New Jersey.
- Villalobos, E. 2001. Fisiología de la producción de los productos tropicales. EUCR. San José, Costa Rica. 228 p.
- White, P. J.; Whalley, R. E; Hammond, J. Pand Zhang, K. 2007. Minerals, Soils and roots. In: Vreugdenhil, D. (ed.). Potato biology and biotechnology, advances and perspectives. Elsevier Amtersdan. 739-752 p.

Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de compost de caña*

Yield of *Jatropha curcas* L. inoculated with mycorrhiza and fertilized with sugarcane compost

Brenda Gabriela Díaz-Hernández¹, Juan Francisco Aguirre-Medina^{2§} y Víctor Hugo Díaz-Fuentes³

¹Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, km 34.5 (diaz.brenda@inifap.gob.mx). ²Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Entronque carretera costera y Estación Huehuetán. C. P. 30660. Fax (964)6270439. Huehuetan, Chiapas, México. (juanf56@prodigy.net.mx). ³Campo Experimental Rosario Izapa. Carretera Tapachula Cacaohatán, Municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, km 18.5 (diaz.victor@inifap.gob.mx); ruiz.pablo@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: juanf56@prodigy.net.mx.

Resumen

Con el objetivo de identificar la influencia de *Glomus intraradices* y la compost de caña sobre rendimiento de *Jatropha curcas* L. en condiciones de campo, se estableció el presente experimento en un suelo de baja fertilidad en Cotaxtla Veracruz durante el invierno de 2008. El piñón se propagó en vivero con semilla colectada en el estado de Veracruz. Se trasplantaron al terreno cuando tenían 20 cm de altura en plantación de marco real a distancia de 3 x 3 m. Se establecieron cuatro tratamientos distribuidos en bloques al azar con cuatro repeticiones; testigo, 40 g de *Glomus intraradices* por planta, 1 kg de compost de caña, y 40 g *Glomus intraradices* + 1 kg de compost de caña, en diseño de bloque al azar con cuatro repeticiones. La aplicación de tratamientos fue al momento del trasplante a campo. La unidad experimental se conformó de diez plantas. Se evaluó grosor de tallo y otras variables fisiológicas del rendimiento a los 6, 12, 20 y 26 meses, que corresponden a 180, 365, 680 y 780 días después de la siembra (dds). Los resultados indican diferencias estadísticas significativas en todas las variables para los tratamientos micorrizados con y sin la adición de compost de caña. Se concluye que la inoculación de *Jatropha curcas* L. con *Glomus intraradices* promueve

Abstract

With the aim of identifying the influence of *Glomus intraradices* and of sugarcane compost on the yield of *Jatropha curcas* L. under field conditions, we established the present experiment in a low fertility soil in Cotaxtla Veracruz during the winter of 2008. The "piñon" was propagated in a greenhouse with seeds collected in the state of Veracruz. They were transplanted to the field when they were 20 cm tall in a real frame system at a distance of 3 x 3 m. We developed four treatments distributed in random blocks with four replicates witness; control, 40 g of *Glomus intraradices* per plant, 1 kg of sugarcane compost, and 40 g of *Glomus intraradices* + 1 kg of sugarcane compost in randomized block design with four replicates. The treatments were applied when the plants were transplanted to the field. The experimental unit comprised ten plants. Stem thickness was evaluated, as well as other physiological variables of yield, at 6, 12, 20 and 26 months, which correspond to 180, 365, 680 and 780 days after sowing (DAS). The results indicate statistically significant differences in all variables for mycorrhizal treatments with and without the addition of sugarcane compost. It is concluded that the inoculation of *Jatropha curcas* L. with *Glomus intraradices* promotes the production of a greater

* Recibido: agosto de 2012
Aceptado: marzo de 2013

mayor número de frutos y peso de semillas. La combinación del hongo micorrízico y composta de caña, son una base para incrementar el rendimiento de *Jatropha*.

Palabras claves: *Jatropha curcas* L., *Glomus intraradices*, rendimiento.

Introducción

Jatropha curcas L., conocida en México como "piñón", crece en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Produce semillas con alto contenido de aceite, y tiene potencial para utilizarse en la producción de biodiesel y sustituir a los combustibles fósiles (Heller, 1996). En los últimos años, el conocimiento relacionado con la extracción de aceite de sus semillas, con buenas características para la combustión directa en motores de encendido por compresión, o para la producción de biodiesel (van der Putten, 2010) ha favorecido su cultivo, y la producción y cosecha de semillas puede ser además, una oportunidad para generar empleos en el medio rural.

En la actualidad, la especie es utilizada como cerco vivo para delimitar los predios y con fines medicinales y alimenticios en algunas regiones de México (Díaz y Díaz, 2009). En su sistema radical, *Jatropha curcas* L. es colonizada por los hongos endomicorrízicos y ésta relación favorece la capacidad de absorción de nutrientes y agua del suelo a la planta (Brittaine y Lutaladio, 2010; van der Putten, 2010). En la Costa de Chiapas, se ha encontrado abundante colonización micorrízica en las raíces del piñón establecido en los cercos vivos y esta presencia representa un importante mecanismo para maximizar el uso de fertilizantes químicos sintéticos en explotaciones comerciales, mediante su efecto físico en la extensión del sistema de absorción de las plantas. Se favorece la mineralización y solubilización de nutrientes de la rizosfera, además de aumentar la eficiencia en el transporte de los nutrientes por la planta (Wright *et al.*, 2005).

La asociación de *Jatropha curcas* con hongos micorrízicos ha demostrado que aumenta significativamente la absorción de fósforo y otros micronutrientes (Jamaluddin y Singh, 2006) y cuando existe la deficiencia nutrimental en suelos marginales, induce aborto de flores y frutos (Jongschaap *et al.*, 2007). *Jatropha* es conocida por su capacidad de sobrevivir en suelos muy pobres para la agricultura (Brittaine

number of fruits and seed weight. The combination of the mycorrhizal fungus and the sugarcane compost is a basis for increasing the yield of *Jatropha*.

Key words: *Glomus intraradices*, *Jatropha curcas* L., yield.

Introduction

Jatropha curcas L., known in Mexico as "piñón", grows in the tropical and subtropical regions of the world. It produces seeds with high oil content and has potential for use in the production of biodiesel and for replacing fossil fuels (Heller, 1996). In recent years it has been favored by agricultural producers due to the increasing knowledge related to the extraction of oil from its seeds, which has good properties for direct combustion in compression ignition engines, or for the production of biodiesel (van der Putten, 2010); the production and harvesting of the seeds of this plant can also be an opportunity to create jobs in rural areas.

Currently, the species is used as hedgerows to delimitate land properties and as a medicine and food in some regions of Mexico (Díaz and Díaz, 2009). The root system of *Jatropha curcas* L. is colonized by endomycorrhizal fungi, and this relationship favors the capacity of the plant to absorb nutrients and water from the soil (Brittaine and Lutaladio, 2010; van der Putten, 2010). An abundant mycorrhizal colonization has been found in the roots of "piñones" of the coast of Chiapas used as hedgerows, and the presence of this fungus represents an important mechanism to maximize the use of synthetic chemical fertilizers in commercial farms through its physical effect of expanding the absorption system of the plants. It favors mineralization and nutrient solubilization in the rhizosphere, while increasing the efficiency of the transport of nutrients by the plant (Wright *et al.*, 2005).

The association of *Jatropha curcas* with mycorrhizal fungi has shown to significantly increase the absorption of phosphorus and other micronutrients (Jamaluddin and Singh, 2006), and when there is a nutritional deficiency in marginal soils, it induces abortion of flowers and fruits (Jongschaap *et al.*, 2007). *Jatropha* is known for its ability to survive in soils too poor for agriculture (Brittaine and Lutaladio, 2010; Balota *et al.*, 2011), but the correction of acidity in tropical soils and the addition of fertilizers are essential steps for obtaining highly productive plants (Balota

y Lataladio, 2010; Balota *et al.*, 2011), pero la corrección de la acidez en los suelos tropicales y la adición de fertilizantes son esenciales para lograr plantas altamente productivas (Balota *et al.*, 2011). La capacidad de supervivencia *Jatropha* en suelos de baja fertilidad no significa alta productividad. La falta de humedad y la nutrición, invariablemente se refleja en su producción de semillas (Kant y Wu, 2011). Se requieren los nutrientes para su productividad y para que los hongos micorrízicos los puedan transportar a la planta.

Los niveles óptimos de fertilizantes inorgánicos se han visto que varían con la edad del árbol (Achten, 2008). En el caso de la fertilización inicial y de manteniendo de *Jatropha*, Franken y Flemming (2009) mencionan la importancia de combinar las aplicaciones de fertilizantes químicos sintéticos y compostas, como un mecanismo para mejorar el rendimiento (Meelu, 1996). Al respecto, Ashwani *et al.* (2009) cita incremento en altura de la planta, diámetro del tallo, el número de ramas por planta, número de semillas por planta y el contenido de aceite, con la aplicación de vermicomposta y de abono de estiércol de ganado a *Jatropha* en comparación con el control sin aplicar. Cuevas (2009) utilizó compost de residuos orgánicos de mercados y los aplicó a *Jatropha* y observó un efecto significativo en el desarrollo en altura y en el peso seco de raíz en comparación con las plantas cultivadas sin la aplicación de la compost. La nutrición de *Jatropha* requiere la combinación de diversas estrategias, que van a depender del tipo de suelo y del sistema de producción.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue, identificar la influencia que tienen la aplicación de *Glomus intraradices* y compost de caña de azúcar en el rendimiento de *Jatropha curcas* L. en condiciones de campo.

Materiales y métodos

Sitio experimental, suelo y material biológico

El experimento se estableció en diciembre de 2008, en terrenos del Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km 34.5 de la Carretera Veracruz-Córdoba en el Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, a 18° 55' 59" latitud norte y 96° 11' 37" longitud oeste, altitud de 18 msnm.

et al., 2011). The survivability of *Jatropha* in low fertility soils does not mean high productivity. The lack of moisture and nutrition are invariably reflected in its production of seeds (Kant and Wu, 2011).

It has been observed that the optimum levels of inorganic fertilizers vary with the age of the tree (Achten, 2008). In the case of the initial fertilization and the maintenance fertilization of *Jatropha*, Franken and Flemming (2009) mention the importance of combining the applications of synthetic chemical fertilizers with composts, as a mechanism to improve yield (Meelu, 1996). In this regard, Ashwani *et al.* (2009) cited increased plant height, stem diameter, number of branches per plant, number of seeds per plant and oil content with the application of vermicompost and cattle manure fertilizer to *Jatropha*, compared with the control with no application. Cuevas (2009) used compost made from the organic waste of markets, applied it to *Jatropha* and observed a significant effect on height growth and root dry weight compared with plants grown without the application of the compost. The nutrition of *Jatropha* requires the combination of diverse strategies that will depend on the soil type and the production system.

Therefore, the objective of this study was to identify the influence of the application of *Glomus intraradices* and sugarcane compost on the yield of *Jatropha curcas* L. under field conditions.

Materials and methods

Experimental site, soil and biological material

The experiment was established in December 2008, on the grounds of the Experimental Field Cotaxtla, of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), located at km 34.5 of the Veracruz-Córdoba Highway in the Municipality of Medellín de Bravo, Veracruz, at 18° 55' 59" N and 96° 11' 37" W, at an altitude of 18 masl.

The climate is hot and humid Aw"1(w) (i'), with an average annual temperature of 25 °C; the average annual rainfall is less than 1400 mm distributed over the period of June to September, and the dry season comprises the months from February to May (García, 1973).

El clima es cálido húmedo Aw”₁(w) (i’), con temperatura media anual de 25 °C, la precipitación media anual menor de 1,400 mm y se distribuyen durante el periodo junio a septiembre y una época seca que comprende de febrero a mayo (García, 1973).

El suelo es franco, con 18.8% de arcilla, 30% de limo y 51.20% de arena; 3.22% de materia orgánica y pH de 6.39 en el estrato de 0 a 20 cm. Nitrógeno inorgánico (trazas), 29 ppm de fósforo (Bray-1), 309 ppm de K, 380 ppm de magnesio, 46 ppm de Fierro (DTPA), 2.4 ppm Cobre (DPTA), 2.5 ppm de zinc (DPTA) y 34 ppm de manganeso (DPTA). En general es un suelo de baja fertilidad. Para el establecimiento del experimento se propagó la planta de piñón en vivero a partir de semilla colectada en el estado de Veracruz. Las plantas se trasplantaron al terreno cuando tenían 20 cm de altura. El diseño de plantación fue de marco real con una distancia de 3 x 3 metros entre plantas y líneas respectivamente.

Se utilizó *G. intraradices* desarrollado en suelo como sustrato y *Brachiaria decumbens* L. como planta hospedera con 40 esporas por gramo de suelo y el nivel de colonización en el sistema radical del 95%. La compostura fue elaborada con material de caña de azúcar en la misma región.

Tratamientos y su aplicación

Se establecieron los siguientes tratamientos: testigo, 40 g de *Glomus intraradices* por planta a la siembra, 1 kg de compostura de caña y 40 g de *Glomus intraradices* + 1 kg de compostura de caña. El diseño experimental utilizado fue de bloque al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental se conformó de diez plantas. Las aplicaciones de los productos se realizaron al momento del establecimiento de las plantas en campo. Para el caso de la micorriza, ésta se impregnó espolvoreándola alrededor del interior del hoyo y en el cepellón húmedo de la planta. La compostura de caña se aplicó en el fondo del hoyo, en ambos casos, al momento del trasplante al terreno.

Durante los primeros 5 meses después del establecimiento las plantas recibieron un riego de 10 L/planta, cuando el sustrato se observó completamente seco. La maleza se controló en forma manual. A los 5 meses después de establecido el experimento, se realizó una poda de formación, a 20 cm de altura a partir del suelo, lo anterior para inducir ramificación. Posteriormente, a los 17 meses después de establecido se realizó otra poda a 90 cm de altura.

The soil is loamy, 18.8% clay, 30% silt and 51.20% sand; it also has 3.22% organic matter and a pH of 6.39 in the layer of 0-20 cm. It contains inorganic nitrogen (traces), 29 ppm of phosphorus (Bray-1), 309 ppm of K, 380 ppm of magnesium, 46 ppm of iron (DTPA), 2.4 ppm of copper (DPTA), 2.5 ppm of zinc (DPTA) and 34 ppm of manganese (DPTA). Overall, it is a low fertility soil. For the establishment of the experiment, the "piñon" plants were propagated in a greenhouse from seeds collected in the state of Veracruz. The plants were transplanted to the field when they were 20 cm tall. A real frame planting design was used, with a distance of 3 x 3 meters between plants and lines, respectively.

G. intraradices was used in the soil as substrate and *Brachiaria decumbens* L. as host plant, with 40 spores per gram of soil and a colonization level in the root system of 95%. The compost was made with sugarcane material of the same region.

Treatments and application

We established the following treatments: control; 40 g of *Glomus intraradices* per plant at planting; 1 kg of sugarcane compost; and 40 g of *Glomus intraradices* + 1 kg of sugarcane compost. The experimental design was a randomized block with four replicates. The experimental unit consisted of ten plants. The applications of the products were carried out at the time of the establishment of the plants in the field. For the case of mycorrhiza, it was inoculated by sprinkling it around the inside of the hole and in the wet root ball of the plant. The sugarcane compost was applied at the bottom of the hole in both cases, at the moment when the plants were transplanted to the field.

During the first five months after the establishment of the plants, they received irrigation of 10 L/plant when the substrate was observed to be completely dry. Weeds were controlled manually. Five months after the establishment of the experiment, a formative pruning was carried out at a height of 20 cm from the ground to induce branching. Subsequently, 17 months after the establishment of the experiment, another pruning was carried out at a height of 90 cm.

Variables

The stem diameter was evaluated, as well as other physiological variables of yield at 6, 12, 20 and 26 months, which correspond to 180, 365, 680 and 780 days after sowing (DAS).

Variables

Se evaluó el diámetro del tallo y otras variables fisiológicas del rendimiento a los 6, 12, 20 y 26 meses, que corresponden a 180, 365, 680 y 780 días después de la siembra (dds).

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo principal se cuantificó a 20 cm de altura a partir del suelo con Vernier.

Número de frutos y semillas

Se cuantificó el número de frutos y semillas totales por planta durante cada muestreo, tratamiento y repetición.

Peso de frutos y semillas

El peso de frutos y semilla se cuantificó utilizando una balanza analítica.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza, con el procedimiento PROC ANOVA, posteriormente se aplicó la comparación de medias Tukey con un $\alpha=0.05$ con el programa SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

Diámetro del tallo

En condiciones de campo el diámetro del tallo de *Jatropha* no presentó diferencias estadísticas los primeros seis meses de evaluación (Figura 1). Esto permite sugerir, que durante el periodo inicial de crecimiento de la planta, se establece un flujo de fotosintatos de la parte aérea al sistema radical, como lo consigna Wright *et al.* (2005) en raíces micorrizadas y, ésta demanda de carbohidratos del simbionte pudo haber sido durante los primeros seis meses. Una vez establecida la simbiosis, el beneficio a la planta se expresó en mayor crecimiento vegetal y reproductivo de la planta huésped.

Un año después de establecido, si hubo diferencias estadísticas a favor del tratamiento adicionado de compost. A los 20 y 26 meses dds, el tratamiento inoculado con *G. intraradices* presentó el diámetro del tallo más grueso

Stem diameter

The main stem diameter was measured at a distance of 20 cm from the ground with a Vernier scale.

Number of fruits and seeds

We quantified the total number of fruits and seeds per plant during each sampling, treatment and replicate.

Weight of fruits and seeds

The weight of fruits and seeds was quantified using an analytical balance.

Statistical analysis

The statistical analysis was performed using an analysis of variance with the PROC ANOVA procedure; subsequently, Tukey's mean comparison was applied with $\alpha=0.05$ using the SAS program, version 9.0.

Results and discussion

Stem diameter

Under field conditions, the stem diameter of *Jatropha* did not show statistical differences in the first six months of evaluation (Figure 1). This allows us to suggest that during the initial period of plant growth, a flow of photosynthates from the aerial part to the root system is established, as recorded by Wright *et al.* (2005) in mycorrhizal roots; this carbohydrate demand by the symbiont may have occurred during the first six months. Once symbiosis is established, the benefit to the plant is expressed in greater vegetative and reproductive growth of the host plant.

A year after the establishment of the experiment there were statistical differences in favor of the treatment with addition of compost. At 20 and 26 months dds, the treatment inoculated with *G. intraradices* presented the thickest stems compared to the other treatments. This response could be related to the transport of nutrients and water to the plant, once the symbiosis *Glomus-Jatropha* was established. In other perennial crops, mycorrhizal symbiosis achieved higher induction in plant development

en comparación con los otros tratamientos. La respuesta anterior puede estar relacionada con el transporte de nutrientes y agua a la planta, una vez que se estableció la simbiosis *Glomus-Jatropha*. En otros cultivos perennes, la simbiosis micorrízica logra mayor inducción en el desarrollo vegetal después de los 90 días de su siembra en vivero (Aguirre-Medina, 2006; Aguirre-Medina et al., 2011). El diámetro del tallo tiene importancia con la sobrevivencia y el crecimiento de *Jatropha* en el campo y en general, en las plantas inoculadas fue 10 % mayor en comparación con las plantas testigo. En condiciones de vivero, Balota et al. (2011) encontró, que las plantas de *Jatropha* micorrizadas presentan mayor altura y diámetro de tallo, en cotejo con las plantas no micorrizadas a bajos niveles de fósforo. Este hecho sugiere, que el incremento en el desarrollo de la planta hospedera, puede deberse a un incremento en la toma de nutrientes (Balota et al., 2011).

En otros cultivos como las plantas de café, el diámetro del tallo también se incrementa en las plantas inoculadas con *G. intraradices* y cuando se inocularon las semillas con dos microorganismos, *A. brasiliense* y *G. intraradices*. (Aguirre-Medina et al., 2011). En papaya, Vázquez-Hernández et al. (2011) citan que la inoculación con *G. mosseae* incrementó significativamente la altura de planta respecto al testigo, en 11.4, 3.3 y 3.4% a los 30, 120 y 210 días después del trasplante (ddt) y el diámetro del tallo se incrementó en 15 y 6.6% a los 30 y 120 ddt, respectivamente. Este mismo resultado ha sido consignado, para esta variable, por varios autores en cultivos perennes como cacao (Aguirre-Medina et al., 2007) y en cafeto (Aguirre-Medina et al., 2011).

Número de frutos

Se registraron al año de establecido el ensayo y en el mismo se encontraron diferencias estadísticas significativas a favor de los dos tratamientos biofertilizados con *Glomus intraradices*, cuando se aplicó sola, y en combinación con la compost (Figura 2).

Los resultados anteriores confirman la importancia del establecimiento de la simbiosis micorrízica en *Jatropha*, que permite favorecer el transporte de nutrientes y agua a la planta. La simbiosis a través del tiempo, incrementa el crecimiento de la hifa hacia profundidades no rizosfericas, de perfiles del suelo más distantes, como se ha demostrado en plantaciones de café (Cardoso et al., 2003) mejorando la nutrición y el transporte hacia la raíz de la planta (Schweiger y Jakobsen, 2000) y de esta manera, no solo se favorece

after 90 days of sowing in greenhouse (Aguirre-Medina, 2006; Aguirre-Medina et al., 2011). The diameter of the stem is important to the survival and growth of *Jatropha* in the field; overall, it was 10% larger in inoculated plants compared to the control plants. In greenhouse conditions, Balota et al. (2011) found that mycorrhizal *Jatropha* plants have greater height and stem diameter compared with non-mycorrhizal plants at low levels of phosphorus. This suggests that the increase in the development of the host plant can be due to an increase in the intake of nutrients (Balota et al., 2011).

In other crops, such as coffee plants, stem diameter also increased in plants inoculated with *G. intraradices* and when the seeds were inoculated with two microorganisms, *A. brasiliense* and *G. intraradices*. (Aguirre-Medina et al., 2011). In papaya, Vázquez-Hernández et al. (2011) say that inoculation with *G. mosseae* significantly increased plant height compared to the control, by 11.4, 3.3 and 3.4% at 30, 120 and 210 days after transplanting (DAT) and the stem diameter increased by 15 and 6.6% at 30 and 120 DAT, respectively. This same result has been recorded for this variable by several authors in perennial crops such as cocoa (Aguirre-Medina et al., 2007) and coffee (Aguirre-Medina et al., 2011).

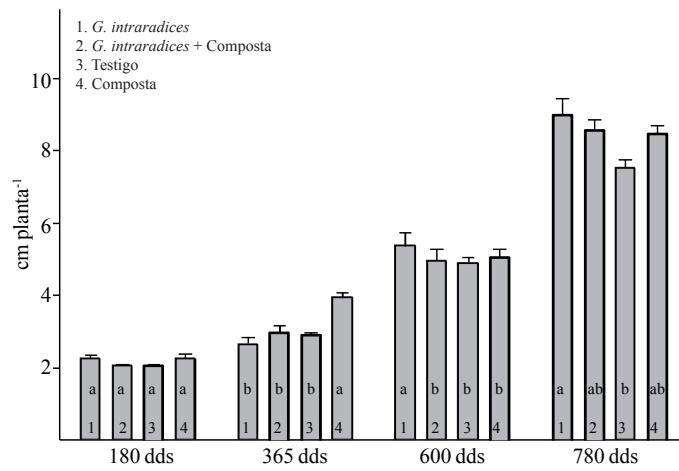


Figura 1. Diámetro del tallo de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y compost de caña en campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

Figure 1. Stem diameter of *Jatropha curcas* L. biofertilized with *Glomus intraradices* and sugarcane compost. The vertical line indicates \pm the standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$).

la nutrición, sino también el transporte da agua (Augé, 2004), en comparación con una planta sin micorrizar. La nutrición y el abastecimiento de agua a la planta de *Jatropha* mediante la micorrización induce aumento de 30% en la tasa fotosintética con niveles de fósforo de 200 y 400 mg kg⁻¹ de suelo, en comparación con las plantas no micorrizadas (Balota *et al.*, 2011). En tomate de cáscara, inoculado con *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasiliense* más vermicomposta, Velasco *et al.* (2001) citan el incremento en la actividad fotosintética en la etapa de floración en comparación con el testigo, y esta condición la refieren a la ventaja de la nutrición de la planta.

La condición nutrimental de las plantas micorrizadas no solo se refleja en el aumento en la tasa fotosintética, sino además, en la disminución de la conductancia estomática (Manjarréz-Martínez *et al.*, 2009; Aguirre-Medina *et al.*, 2005) y este hecho se expresa en mayor número de flores y de frutos. Al respecto, Kant y Wu (2011) mencionan que la época de floración y el número de eventos de floración en *Jatropha*, dependen de la falta de humedad y la nutrición de la planta y su deficiencia se refleja invariablemente en la producción de semillas. En papaya cv maradol, también se incrementó el número de frutos en plantas micorrizadas, inoculadas con *G. mosseae* 41.5% frutos por planta respecto al testigo, y con la inoculación con *E. colombiana* aumentó 22% (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011). En chile serrano Manjarréz-Martínez *et al.* (1999), citan que las plantas con *G. intraradices* produjeron más frutos en combinación con todas las dosis de vermicomposta.

Las experiencias de incrementos en rendimiento en condiciones de campo han sido muy evidentes en cultivos anuales (Dobbelere *et al.*, 2001; Aguirre-Medina, 2006).

Peso fresco de frutos

El peso de los frutos también presenta diferencias estadísticas significativas a favor de los tratamientos donde se inoculó *Glomus intraradices* (Figura 3). Este efecto se debe posiblemente a que la planta, al no tener deficiencias de nutrientes, produce mayor área foliar fotosintéticamente activa (Balota *et al.*, 2011) y favorece el desarrollo de los frutos de *Jatropha*. En otros cultivos, como chile serrano (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999) y tomate de cáscara (Velasco *et al.*, 2001) observaron efecto sinérgico en la producción con la combinación de vermicomposta + *G. intraradices*. Lo anterior sugiere, que la simbiosis micorrízica logra mantener un abastecimiento más uniforme

Number of fruits

The number of fruits was recorded in the year in which the assay was established; significant statistical differences were found in favor of the two treatments biofertilized with *Glomus intraradices* when applied alone and in combination with compost (Figure 2).

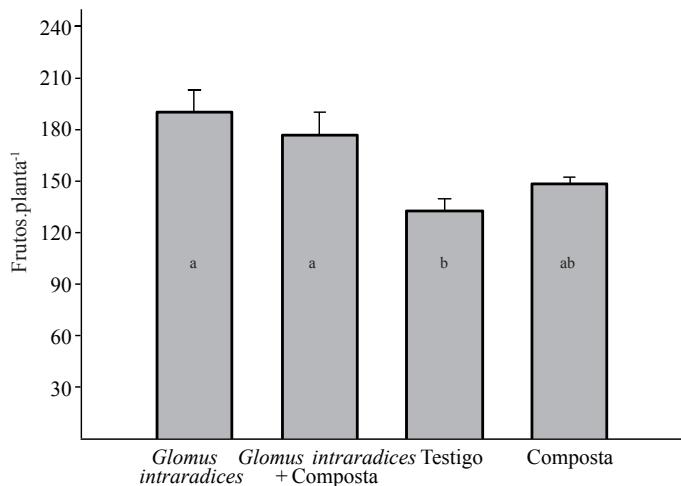


Figura 2. Número de frutos de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y adicionada con compost en condiciones de campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) CV=23%.

Figure 2. Number of fruits of *Jatropha curcas* L. biofertilized with *Glomus intraradices* and added with compost under field conditions. The vertical line indicates \pm the standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$) CV=23%.

The above results confirm the importance of the establishment of mycorrhizal symbiosis in *Jatropha*, which facilitates the transport of nutrients and water to the plant. Symbiosis increases, over time, the growth of the hyphae towards non-rhizospheric depths from more distant soil profiles, as has been demonstrated in coffee plantations (Cardoso *et al.*, 2003), improving nutrition and transport to the root of the plant (Schweiger and Jakobsen, 2000), thus favoring not only nutrition but also the transport of water (Auge, 2004), compared to a non-mycorrhizal plant. Nutrition and the supply of water to the *Jatropha* plant by mycorrhization induced a 30% increase in the photosynthetic rate, with phosphorus levels of 200 and 400 mg kg soil⁻¹ compared to non-mycorrhizal plants (Balota *et al.*, 2011). In tomatillo inoculated with *Glomus intraradices* and *Azospirillum*

de agua a la planta y reducir de esta manera, la posibilidad de que la raíz genere algún mensaje por estrés hídrico y, como consecuencia, el cierre de las estomas.

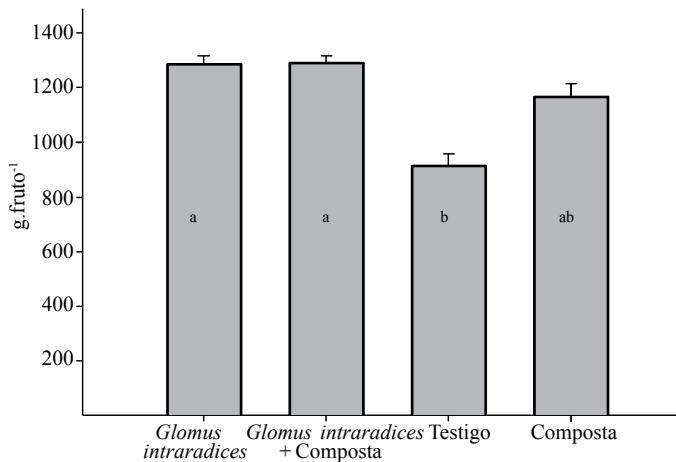


Figura 3. Peso fresco del fruto de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y adicionada con compost en condiciones de campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) CV= 12 %.

Figure 3. Fresh weight of the fruit of *Jatropha curcas* L. biofertilized with *Glomus intraradices* and added with compost under field conditions. The vertical line indicates \pm the standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$) CV= 12%.

El efecto de la micorriza-arbuscular en la modificación de la conductancia estomática en frijol ha sido citada (Aguirre-Medina et al., 2005). El cierre estomático puede dispararse cuando el sistema radical detecta baja humedad disponible (Valladares et al., 2004; Aguirre-Medina et al., 2005).

Peso de semillas

El peso de semillas de *Jatropha* con biofertilizante y compost en condiciones de campo se presenta en la Figura 4.

Esta variable, como las anteriores, refleja el incremento del rendimiento de *Jatropha* asociada a *Glomus intraradices* con y sin compost de caña. La compost de caña seguramente favoreció el mayor tamaño de las semillas. Las plantas adquieren mayor cantidad de fósforo y éste elemento estimula la formación de las semillas (Vance et al., 2003).

brasiliense plus vermicompost, Velasco et al. (2001) cite an increase in photosynthetic activity in the flowering stage compared with the control, and they refer this condition to the advantage given by the improved plant nutrition.

The nutritional condition of mycorrhizal plants is not only reflected in the increase in the photosynthetic rate, but also in the decrease of stomatal conductance (Manjarrez-Martínez et al., 2009; Aguirre-Medina et al., 2005), and this fact is expressed in a greater numbers of flowers and fruits. In this regard, Kant and Wu (2011) mention that the flowering season and the number of flowering events in *Jatropha* depend on the lack of moisture and on the plant nutrition, and that its deficiency is invariably reflected in the production of seeds. In papaya cv maradol, the number of fruits also increased in mycorrhizal plants inoculated with *G. mosseae*: 41.5% more fruits per plant compared to the control; with the inoculation of *E. colombiana*, the number of fruits increased to 22% (Vázquez-Hernández et al., 2011). In serrano pepper, Manjarrez-Martínez et al. (1999) cite that plants with *G. intraradices* produced more fruits in combination with all the doses of vermicompost.

The experiences of yield increases in field conditions have been very evident in annual crops (Dobbelere et al., 2001; Aguirre-Medina, 2006).

Fresh weight of fruits

Fruit weight also presented significant statistical differences in favor of the treatments with inoculation of *Glomus intraradices* (Figure 3). This effect is possibly due to the fact that the plant, having no nutrient deficiencies, produces more photosynthetically active leaf area (Balota et al., 2011) and favors the development of the fruits of *Jatropha*. In other crops, such as serrano pepper (Manjarrez-Martínez et al., 1999) and tomatillo (Velasco et al., 2001) a synergistic effect on production was observed with the combination of vermicompost + *G. intraradices*. This suggests that mycorrhizal symbiosis manages to maintain a more uniform water supply to the plant and thus reduces the possibility that the root generates a message due to water stress and, as a consequence, the closure of the stomata.

The effect of the arbuscular-mycorrhizal on the change of stomatal conductance in beans has already been cited (Aguirre-Medina et al., 2005). Stomatal closure can be

Kant y Wu (2011) citan que en *Jatropha*, la humedad disponible, así como la temperatura, son factores que afectan la producción de semillas. El desarrollo del micelio externo del hongo micorrízico, según Hodge *et al.* (2001) se incrementa por la presencia de materiales orgánicos naturales y esta situación se puede presentar con la combinación de los hongos micorrízicos más la aplicación de la composta y en consecuencia, el incremento en el peso promedio de las semillas de *Jatropha*. Los beneficios iniciales de los hongos micorrízicos en el desarrollo vegetal y reproductivo de *Jatropha* son de importancia agronómica, pero a través del tiempo, las plantaciones deben de ser abastecidas de todos los nutrientes, especialmente las establecidas en suelos marginales. En las regiones tropicales el fósforo limita el crecimiento vegetal en la mayoría de los suelos, aun cuando está presente en grandes cantidades, su accesibilidad a las raíces para ser absorbido es incierta, debido a las interacciones con los coloides, a reacciones de precipitación con aluminio, hierro, calcio, o bien, a su reducida difusión, que favorece el desarrollo de zonas de agotamiento alrededor de las raíces absorbentes (Siqueira, 1998).

Las transformaciones biológicas del fósforo no presentan la peculiaridad de transitar por la atmósfera, como lo es el ciclo del nitrógeno. Se rige por la circulación del suelo a la planta, al animal, a los microorganismos y nuevamente al suelo, y es en esta condición, que los hongos endomicorrízicos forman parte sustantiva en la simbiosis con las plantas. La micorrización representa un importante mecanismo para maximizar el uso eficiente de las aplicaciones de los fertilizantes químicos sintéticos mediante su efecto físico en la extensión del sistema de captura y absorción de los mismos para las plantas. Con estas ventajas, es posible mejorar el uso eficiente de los fertilizantes y disminuir las cantidades requeridas para el crecimiento de las plantas (Andrade *et al.*, 2009).

Los hongos micorrízicos, además del transporte de nutrientes a la planta, se ha demostrado que son capaces de solubilizar minerales (Crowley *et al.*, 1991), producir substancias reguladoras del crecimiento (Arshad y Frankenberger, 1991), y en consecuencia, incrementar el volumen de la biomasa radical (Roveda y Polo, 2007). En otros casos, se ha beneficiado la inducción de resistencia sistémica a patógenos (Van Peer *et al.*, 1991), inhibición del crecimiento de algunos organismos patógenos (Utkhede *et al.*, 1999). En la tolerancia a sequía, se mejora el mejor aprovechamiento del agua (Augé *et al.*, 2001 y Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

triggered when the root system detects low available moisture (Valladares *et al.*, 2004; Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

Seed weight

The weight of *Jatropha* seeds with biofertilizer and compost under field conditions is presented in Figure 4.

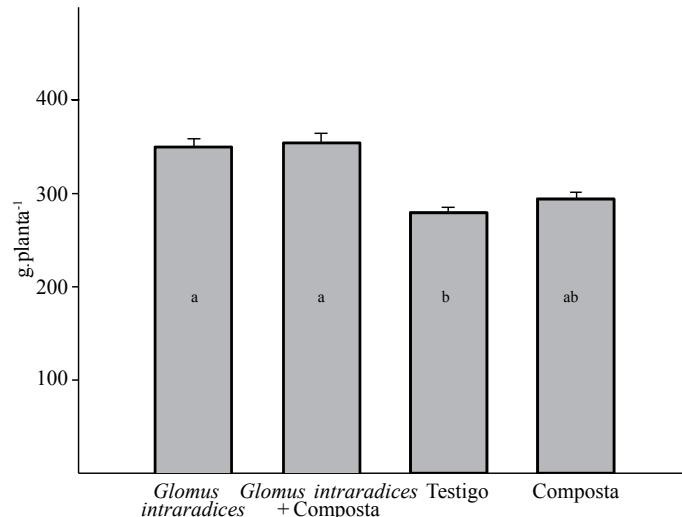


Figura 4. Peso promedio de semilla de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y adicionada con compost en condiciones de campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) CV= 10%.

Figure 4. Average weight of *Jatropha curcas* L. seeds biofertilized with *Glomus intraradices* and added with compost under field conditions. The vertical line indicates \pm standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$) CV= 10%.

This variable reflects, as the previous ones, the increase in the yield of *Jatropha* associated to *Glomus intraradices* with and without sugarcane compost. Sugarcane compost undoubtedly favored larger seeds. Plants acquire a greater amount of phosphorus and this element promotes the formation of seeds (Vance *et al.*, 2003).

Kant and Wu (2011) cite that in *Jatropha*, available moisture and temperature are factors that affect the production of seeds. The development of the external mycelium of mycorrhizal fungi, according Hodge *et al.* (2001), is increased by the presence of natural organic materials, and this situation could occur with the combination of mycorrhizal fungi and compost, and the consequent increase in the average weight

Se ha comprobado que la aplicación de los hongos micorrízicos en diferentes cultivos, tienen efecto sinérgico en la nutrición de la planta huésped y su concomitante beneficio en el desarrollo vegetativo y reproductivo (Aguirre-Medina, 2009; Barrer, 2009), como en el caso la adición de vermicomposta, ya sea sola o combinada con *G. intraradices* y *A. brasiliense* en tomate de cáscara, que mostró efecto positivo sobre la tasa fotosintética, acumulación de materia seca y rendimiento (Velasco *et al.*, 2001).

Milthorpe y Moorby (1982) agregan, que el aumento de una hoja se da por un aumento en el tamaño medio de las células del mesófilo, el peso específico foliar y la cantidad de cloroplastos por unidad de área, y por lo general, hay una relación positiva entre el suministro de nutrientes minerales y la tasa de fotosíntesis, las cuales influyen en todo el complejo fotosintético. En otros cultivos como el café, se ha demostrado la alta dependencia micorrízica, especialmente en etapas de vivero y los efectos positivos se prolongan después del trasplante en campo (Siqueira *et al.*, 1998).

Conclusión

La inoculación de *Jatropha curcas* L. con *Glomus intraradices* promueven mayor desarrollo de plantas vigorosas en su tallo, número de frutos y el peso de las semillas. La combinación del hongo micorrízico junto con la compostura de caña, son una base para incrementar el rendimiento de *Jatropha*.

Literatura citada

- Achten, W. M. J.; Verchot, L.; Franken, Y. J.; Mathijs, E.; Singh, V. P.; Aerts, R. and Muys, B. 2008. Jatropha bio-diesel production and use. Bio. Bioenergy. 32:1063-1084.
- Aguirre-Medina, J. F.; Kohashi-Shibata, J.; Trejo-López, C.; Acosta Gallegos, J. A. y Cadena-Iñiguez, J. 2005. Inoculación de *Phaseolus vulgaris* L. con tres microorganismos y su efecto en tolerancia a sequía. Agric. Téc. Méx. 31(2):125-137.
- Aguirre-Medina, J. F. 2006. Biofertilizantes microbianos: experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Libro técnico Núm. 2. 201 p.

of the seeds of *Jatropha*. The initial benefits of mycorrhizal fungi for the vegetative and reproductive development of *Jatropha* are of agronomic importance, but the plantations must be supplied with all the nutrients over time, especially those established on marginal soils. In tropical regions, phosphorus limits plant growth in most soils, even when present in large quantities; its availability to the roots for absorption is uncertain due to interactions with colloids, to precipitation reactions with aluminum, iron and calcium, or to its low diffusion, which favors the development of depletion zones around the absorbing roots (Siqueira, 1998).

The biological transformations of phosphorus do not have the peculiarity of going through the atmosphere, as occurs in the nitrogen cycle. It is governed by a circulation from the soil to the plant, to the animal, to the microorganisms and back to the soil, and it is in this sense that endomycorrhizal fungi play a substantive role in the symbiosis with plants. Mycorrhization represents an important mechanism to maximize the efficiency of the applications of synthetic chemical fertilizers through its physical effect on the expansion of the system with which the plants capture and absorb them. With these advantages, it is possible to improve the efficient use of fertilizers and to reduce the amounts of them that are required for the growth of plants (Andrade *et al.*, 2009).

In addition to transporting nutrients to the plant, it has been shown that mycorrhizal fungi are also capable of solubilizing minerals (Crowley *et al.*, 1991), producing growth regulatory substances (Arshad and Frankenberger, 1991), and consequently increasing root biomass volume (Roveda and Polo, 2007). In other cases, mycorrhizal fungi have improved the induction of systemic resistance to pathogens (Van Peer *et al.*, 1991) and the inhibition of the growth of some pathogenic organisms (Utkhede *et al.*, 1999). Regarding drought tolerance, these fungi improve the use of water by the plant (Augé *et al.*, 2001 and Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

It has been found that the application of mycorrhizal fungi in various crops has a synergistic effect on the host plant nutrition, with a concomitant improvement of vegetative and reproductive development (Aguirre-Medina, 2009, Barker, 2009), as in the case of the addition of vermicompost, either alone or combined with *G. intraradices* and *A. brasiliense*, in tomatillo, which showed a positive effect on the rate of photosynthesis, dry matter accumulation and yield (Velasco *et al.*, 2001).

- Aguirre-Medina, J. F.; Mendoza-López, A.; Cadena-Iñiguez, J. y Avendaño-Arrazate, C. 2007. La biofertilización del cacao (*Theobroma cacao*) L. en vivero con (*Azospirillum brasiliense*) Tarrand, Krieg et Döbereiner y (*Glomus intraradices*) Schenck et Smith. *Interciencia*. 32(8):1-6.
- Aguirre-Medina, J. F. 2009. Rendimiento y desarrollo de cultivos anuales y perennes con biofertilizantes microbianos en Chiapas. In: Cadena, I. P.; López, B. W. y Morales, G. M. (Eds.). Primer encuentro Estatal de Productores Exitosos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocuautla de Espinosa, Chiapas, México. Publicación especial Núm. 4. 60-77 pp.
- Aguirre-Medina, J. F.; Moroyoqui-Ovilla, D. M.; Mendoza-López, A.; Cadena-Iñiguez, J.; Avendaño-Arrazate, C. H. y Aguirre-Cadena, J. F. 2011. Aplicación de *A. brasiliense* y *G. intraradices* a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1):1-10.
- Andrade, S. A. L.; Mazzafera, P.; M. A. Schivinato, M. A. and Silveira, A. P. D. 2009. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *Review. J. Agric. Sci.* 147:105-115.
- Arshad, M. and W. T. Frankenberger. 1991. Plant growth-regulating substances in the rhizosphere: Microbial production and functions. *Advances in Agronomy*. 62: 45-151.
- Ashwani, K. S.; Satyawati, S. and Saroj, M. 2009. Application of farmyard manure and vermi-compost on vegetative and generative characteristics of *Jatropha curcas*. *J. Phytol.* 1 (44):206-211.
- Augé, R. M.; Stadola, A. J.; Tims, J. E. and Saxton, M. 2001. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant Soil*. 230:87-97.
- Augé, R. M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian J. Soil Sci.* 84:373-381.
- Balota, E. L.; Machineski, O.; Truber, P. V.; Scherer, A. and de Souza, F. S. 2011. Physic nut plants present high mycorrhizal dependency under conditions of low phosphate availability. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(1):33-44.
- Barrera, E. S. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares Como una alternativa para la agricultura. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Industrial de Santander. 7(1):123-132.
- Brittain, R. and Lutaladio, N. 2010. *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop. The potential for pro-poor development. integrated crop management. Chapter 3. *Jatropha cultivation*. Plant Production and Protection Division. FAO, Rome, Italy. 114 p.
- Cardoso, I. M.; Boddington, C.; Janssen, B. H.; Oenema, O. and Kuyper, T. W. 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coee systems in Brazil. *Agro System*. 58:33-43.
- Crowley, D. E.; Wang, Y. C.; Reid, C. P. P. and Szaniszlo, P. J. 1991. Mechanisms of iron acquisition from siderophores by microorganisms and plants. *Plant Soil* 130:179-198.
- Cuevas, C. V. 2009. Growth Performance of *Jatropha curcas* L. Seedlings and some properties of acidic, low fertility grassland soil amended with biowaste compost. *Philipp Agric SCientist*. 92(3):15-319.
- Díaz, H. B. G. y Díaz, V. H. 2009. Características físicas y contenido de aceite de 29 ecotipos de *Jatropha curcas* colectados en el estado de Veracruz, México. Memoria del IV Encuentro Internacional sobre Desarrollo Forestal Sostenible. FAO. IUFRO. La Habana, Cuba. 1277-1287 pp.

Milthorpe and Moorby (1982) add that the growth of a leaf occurs as a result of an increase of the average size of the mesophyll cells, of the leaf specific weight and of the amount of chloroplasts per unit area; in general, there is a positive relationship between the supply of mineral nutrients and the rate of photosynthesis, which influences the whole photosynthetic complex. In other crops such as coffee, a high mycorrhizal dependency has been demonstrated, especially in greenhouse stages, and the positive effects are prolonged after transplantation to the field (Siqueira *et al.*, 1998).

Conclusion

The inoculation of *Jatropha curcas* L. with *Glomus intraradices* promotes plant development, including stems that are more vigorous, a greater number of fruits and higher seed weight. The combination of mycorrhizal fungi with sugarcane compost is a basis for increasing the yield of *Jatropha*.

End of the English version



- Dobbelaere, S.; Croonenborghs, A.; Thys, A.; Ptacek, D.; Vanderleyden, J.; Dutto, P.; Labandera-González, C.; Caballero-Mellado, J.; Aguirre-Medina, J. F.; Kapulnik, Y.; Brener, S.; Burdman, S.; Kadouri, D.; Sang, S. and Okon, J. 2001. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Aust. J. Plant Physiol.* 28(9):871-879.
- Franken, Y. J. and Flemming, N. 2009. Establecimiento y manejo de plantaciones. In: manual de *Jatropha*. FACTS (Fuels from Agriculture in communal technology). FACT Foundation. The Netherlands. 230 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México (UNAM). 2^a (Ed.). México D. F. 246 p.
- Heller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of plant genetics and crop plant research. Gatersleben- International Plant Genetic Resources Institute. Rome. 66 p.
- Hodge, A.; Campbell C. D. and Fitter, A. H. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic materials. *Nature*. 413: 297-299.
- Jamaluddin, A. and Singh, K. 2006. Studies on arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Jatropha curcas* L. *Mycorrhiza News*. 18(3):12-14
- Jongschaap, R. E. E.; Corré, W. J.; Bindraban, P. S. and Brandenburg, W. A. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Report 158. Plant Research International, B.V. Wageningen, Holland. 65 p.

- Kant, P. and Wu, S. 2011. The extraordinary collapse of Jatropha as a global biofuel. *Environ. Sci. Technol.* 45:7114-7115.
- Manjarrez-Martínez, M. J.; Ferrera-Cerrato R. y González-Chávez M. C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra.* 17(1):9-15.
- Meelu, O. P. 1996. Integrated nutrient management for ecologically sustainable agriculture. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 44:582-592.
- Milthorpe, F. L. y Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Ed. Hemisferio Sur. Argentina. 188-192 pp.
- Roveda, G. y Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía Colombiana* 25(2):349-356.
- Saggin, Jr.; Siqueira, O. J.; Colozzi-Filho, J. O. e Oliveira, A. E. 1992. A infestação do solo com fungos micorrízicos no crescimento post- transplante de mudas de caféiro nao micorrizadas. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 16:39-46.
- Schweiger, P. and Jakobsen, I. 2000. Laboratory and field methods for measurement of hyphal uptake of nutrients in soil. *Plant Soil.* 226:237-244.
- Siqueira, J. O.; Saggin-Junior, O. J.; Flores-Aylas, W. W. and Guimaraes, P. T. G. 1998. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza.* 7:293-300.
- Utkhede, R. S.; Koch, C. A. and Menzies, J. G. 1999. Rhizobacterial growth and yield promotion of cucumber plants inoculated with *Phytophthora aphanidermatum*. *Can. J. Plant Pathol.* 21:265-271.
- Van Peer, R.; Niemann G. J. and Schippers B. 1991. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of Fusarium wilt of a carnation by *Pseudomonas* sp. Strain WCS417r. *Phytopathology* 81:728-734.
- Van der Putten, E. 2010. Datos generales de la *Jatropha*. In: manual de *Jatropha*. FACTS (Fuels from Agriculture in communal technology). FACT Foundation. The Netherlands. 230 p.
- Vázquez-Hernández, M.V.; Arévalo-Galarza, M. L.; Jaén-Contreras, D. y Escamilla-García, J. L. 2011. Evaluación del efecto de micorrizas en la producción y calidad de papaya maradol *Carica papaya*. *Agroproductividad.* 4(2):27-32.
- Velasco V., J.; Ferrera-Cerrato, R. y Almaraz Suárez, J. J. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasiliense* en tomate de cáscara. *Terra.* 19 (3): 241-248.
- Valladares, F.; Vilagrosa, A.; Peñuelas, J.; Ogaya, R.; Camarero, J. J.; Corcuera, L.; Sisó, S. y Gil-Pelegrín, E. 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. In: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. 163-190 pp.
- Vance, C. P.; Uhde-Stone, C. and Allan, L. D. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist.* 157:423-447.
- Wright, D. P.; Scholes, J. D.; Read, D. J. and Rolfe, S.A. 2005. European and African maize cultivars differ in their physiological and molecular responses to mycorrhizal infection. *New phytologist.* 167:881-896.

Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense*

Comparison of vegetation indexes in the Sonoran desert incorporating soil and moisture indicators and application to estimates of LAI

Víctor M. Rodríguez-Moreno^{1§} y Stephen H. Bullock¹

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Departamento de Geología y División Ciencias de la Tierra. Carretera Ensenada-Tijuana Núm. 3918, 22860. Ensenada, Baja California, México. Tel +52 646 1750500. (sbullock@cicese.mx). [§]Autor para correspondencia: rmoreno@cicese.edu.mx.

Resumen

Se realizó una comparación multitemporal de cuatro índices de la vegetación en 50 sitios en una región árida subtropical con costa. Los índices de verdor (NDVI, SAVI y TSAVI) y de humedad (NDII) fueron evaluados. NDVI y SAVI estuvieron muy correlacionados mientras que TSAVI fluctuó menos y NDII mostró fuertes variaciones estacionales. La corrección topográfica (superficie iluminada) de los datos crudos causó un incremento en el valor de pendiente de la línea del suelo >20%. Los índices, excepto NDII, se usaron para estimar el Índice de área foliar, y el análisis señal-a-ruido evidenció que SAVI está muy cercano a NDVI, pero TSAVI tuvo mucha mayor señal en los meses secos.

Palabras clave: corrección topográfica, teledetección, índice de área foliar.

Introducción

Los índices de vegetación basados en datos remotos se han utilizado cada vez con más frecuencia como indicadores cuantitativos del funcionamiento de los ecosistemas. Esto es debido a su diseño conceptual y estructural de que, a partir de datos indirectos, se infiera el monto de energía

Abstract

A multi-temporal comparison was made of four spectral vegetation indexes among 50 sites in a subtropical, coastal arid region. Greenness indexes (NDVI, SAVI and TSAVI) and one of moisture (NDII) were evaluated. NDVI and SAVI were very closely correlated, while TSAVI fluctuated less and NDII showed strong seasonal variations. Topographic correction (illuminated surface) of raw data usually increased the slope of TSAVI's soil line by >20%. The indexes, except NDII, were used to estimate Leaf Area Index; signal-to-noise analysis of LAI suggested that SAVI is usually close to NDVI but TSAVI has much more signal in the drier months.

Key words: leaf area index, NDII, NDVI, remote sensing, SAVI, topographic correction, TSAVI.

Introduction

Vegetation indexes based on remote sensing data have been used with increasing frequency as quantitative indicators of ecosystem functioning. This is due to its conceptual and structural design that allows to infer from indirect data, the amount of energy absorbed, reflected or

* Recibido: julio de 2012
Aceptado: enero de 2013

absorbida, reflejada o irradiada por los objetos según sus propiedades ópticas al entrar en contacto con su superficie. Consuetudinariamente se han utilizado para realizar estudios espaciales y multitemporales por la caracterización de ecosistemas, escalando observaciones locales y también para evidenciar la respuesta de la vegetación a las variaciones en los flujos radiante e hídrico.

El índice más empleado es el índice de la vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index- NDVI), un cociente que representa las características funcionales de la planta activa y que contrasta la reflectancia de las bandas infrarrojo cercano (Near Infrared- NIR) y rojo (Red- R). Utilizando las mismas bandas, el índice de vegetación con ajuste de suelo (Soil Adjusted Vegetation Index- SAVI) también representa el vigor y la estructura del dosel, pero además incorpora un ajuste arbitrario para la cobertura incompleta del terreno.

El índice transformado con ajuste de suelo (Transformed Soil Adjusted Index- TSAVI) mejora este ajuste arbitrario mediante la incorporación de una "línea de suelo", calculada a partir de la comparación de todos los pixeles en los dominios NIR y R para obtener indicadores de la cantidad y el color de suelo expuesto (Gosamo-Gosa, 2009). Otra alternativa entre los índices, aunque no ampliamente utilizado, es el Índice infrarrojo de diferencia normalizada (Normalized Difference Infrared Index- NDII), que representa el contenido de agua de la cubierta del suelo, utiliza las longitudes de onda NIR e infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared- SWIR) y puede ser un indicador útil para diferenciar especies de hoja caduca (caducífolios) de especies de plantas suculentas.

El índice NDVI se ha utilizado para la estimación de parámetros importantes del flujo de energía (Asrar *et al.*, 1989; Myneni *et al.*, 1997). Pero, SAVI parece ser menos afectado por las variaciones en el brillo del suelo y por lo tanto sus valores para una cubierta vegetal dada son más bien independientes al reflejo del suelo (Gilabert *et al.*, 2002). Una comparación cuantitativa entre NDVI y SAVI indicó una tendencia sistemática de producir valores altos de NDVI en suelos más oscuros que en ligeros (Gilabert *et al.*, 2002). La influencia del suelo en el valor de los índices se espera que sea frecuente especialmente en áreas de ecosistemas abiertos con cobertura escasa (Huete, 1988).

Por otro lado, la reflectancia en SWIR está primeramente asociada con la absorción de agua, aunque por sí sola no puede usarse para estimar el contenido de humedad a

radiated by objects based on their optical properties. They have been customarily used to perform spatial and multi-temporal studies on the characterization of ecosystems by scaling up local observations, and also to show the response of the vegetation to changes in the radiant and hydric flows.

The most commonly used index is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a ratio that represents the functional characteristics of the active plant by contrasting the reflectance of the near infrared (Near Infrared-NIR) and red (Red-R) bands. Using the same bands, the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) also represents the vigor and structure of the canopy, but it incorporates an arbitrary adjustment to offset an incomplete field coverage.

The Transformed Soil Adjusted Index (TSAVI) improves this arbitrary adjustment by incorporating a "soil line", calculated from the comparison of all the pixels in the NIR and R domains in order to obtain indicators of the amount and the color of exposed soil (Gosamo-Gosa, 2009). Another index, although not widely used, is the Normalized Difference Infrared Index (NDII), which represents the water content of the soil cover; it utilizes NIR wavelengths and infrared shortwaves (Short-Wave Infrared SWIR) and can be a useful indicator to differentiate deciduous species among succulent species.

The NDVI has been used to estimate important energy flow parameters (Asrar *et al.* 1989; Myneni *et al.*, 1997). But SAVI seems to be less affected by the brightness variations in the soil, making its values for a given plant cover rather independent of the soil reflection (Gilabert *et al.*, 2002). A quantitative comparison between NDVI and SAVI showed a systematic tendency to produce higher NDVI values in darker soils than in light ones (Gilabert *et al.*, 2002). The influence of the soil on the value of the indexes is expected to be especially prevalent in areas with open ecosystems and little plant coverage (Huete, 1988).

Furthermore, SWIR reflectance is primarily associated with water absorption, although it cannot be used alone to estimate moisture content at the landscape scale (Toomey and Vierling, 2005). NDII has been reported as a very accurate indicator of foliar moisture content in various ecosystems (Hardisky *et al.*, 1983; Chuvieco *et al.*, 2002, Cheng *et al.*, 2008).

Because of the role played by green leaves in a wide range of biological and physical processes, the density of the leaf cover on the ground is measured by the Leaf Area Index

escala de paisaje (Toomey y Vierling, 2005). NDII ha sido reportado como un indicador muy preciso del contenido de humedad foliar en variados ecosistemas (Hardisky *et al.*, 1983; Chuvieco *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2008).

Debido al papel de las hojas verdes en una amplia gama de procesos biológicos y físicos, la densidad de la cobertura de hojas en el terreno es medida a través del índice de área foliar (Leaf Area Index- LAI). El modelado de ecosistemas a gran escala, que se utiliza para simular una gama de respuestas en el terreno a la variabilidad y los cambios en el clima (Myneni *et al.*, 1997), requiere de incorporar un conjunto de variables del terreno entre las cuales LAI es clave por sus implicaciones biológicas, biogeoquímicas y meteorológicas (Montieth, 1977; Jarvis y Leverenz, 1983).

La estimación del LAI se realiza por métodos directos, que implican muestreo destructivo y la colecta de hojarasca, e indirectos, basados en el registro del espectro electromagnético por sensores para radiometría y modelos de transferencia radiativa. La teledetección representa la única alternativa viable por escala, cobertura, temporalidad y costo, para caracterizar y monitorear el estado de la vegetación. Hay evidencia que soporta la estimación del LAI a partir de índices de la vegetación, por lo menos en regiones con cobertura alta (Green *et al.*, 1997; Turner *et al.*, 1999; Berterretche *et al.*, 2005; Tian *et al.*, 2007; Zeng y Moskal, 2009).

Este estudio tuvo como objetivo realizar una evaluación comparativa de la variación temporal y espacial de los índices NDVI, SAVI, TSAVI y NDII en un ecosistema semiárido, cubriendo las temporadas de calor y frío, con la expectativa de documentar una mayor variabilidad en los dos últimos. En el proceso de cálculo de los índices se planteó un objetivo secundario, evaluar el impacto de la aplicación (o no) de una corrección topográfica a los datos crudos antes de calcular la radiación y la reflectancia superficial. El uso de esta corrección no se menciona a menudo pero parece apropiado dada la ecuación para el cálculo de los índices y la geomorfología agreste de la región de estudio. Aquí se explora la sensibilidad multitemporal de la pendiente de la línea de suelo para este tratamiento. Adicionalmente, se evaluó la confiabilidad de NDVI, SAVI y TSAVI, a través de la razón señal-a-ruido, de derivar el LAI.

La región de estudio está en la parte central de la península de Baja California en el noroeste de México (Figura 1). Es un desierto de latitud media, con influencia costera y vientos predominantes procedentes del océano frío. Esta

(LAI). Large-scale ecosystem modeling, which is used to simulate a range of responses on the ground to climatic variability and changes (Myneni *et al.*, 1997), requires the incorporation of a set of ground variables, among which LAI is critical due its biological, biogeochemical and meteorological implications (Montieth, 1977; Jarvis and Leverenz, 1983).

The estimation of LAI is done by direct methods, which involve destructive sampling and collection of plant litter, as well as by indirect methods based on electromagnetic spectrum records from radiometry sensors and radiative transfer models. Remote sensing is the only viable alternative, in terms of scale coverage, timing and cost, to characterize and monitor the condition of the vegetation. There is evidence supporting the estimation of LAI from vegetation indexes, at least in regions with high coverage (Green *et al.*, 1997; Turner *et al.*, 1999; Berterretche *et al.*, 2005; Tian *et al.*, 2007; Zeng and Moskal, 2009).

This study aimed to perform a comparative assessment of the temporal and spatial variation of the indexes NDVI, SAVI, TSAVI and NDII in a semiarid ecosystem, covering the warm and cold seasons, expecting to register a greater variability in the last two indexes. In the process of calculating the indexes, a secondary objective was raised: assessing the impact of the application (or lack of) of a topographic correction to the raw data before calculating surface radiation and reflectance. The use of this correction is not mentioned often, but seems appropriate given the equation for calculating the indexes and the rugged geomorphology of the study region. This study explores also the multi-temporal sensitivity of the slope of the soil line for this treatment. Additionally, we assessed the reliability, through the signal-to-noise ratio, of NDVI, SAVI and TSAVI for deriving LAI.

The study area is in the central part of the Baja California peninsula in northwestern Mexico (Figure 1). It is a mid-latitude desert, with coastal influence and prevailing winds from the cold ocean. This region of the peninsula is <80 km wide, and its eastern end is under the influence of warm currents and winds from the Gulf of California. Annual rainfall is ~ 120 mm in the Pacific side and ~ 80 mm in the Gulf slope (averages of four and two seasons, respectively, from 1957 to 2009) (Figure 2). The characteristic feature of the precipitation regime are the large frontal systems in winter and a monsoon with rainfall in the summer derived from tropical and subtropical storms in the eastern Pacific (Salinas-Zavala *et al.*, 2002).

región de la península es <80 km de ancho, y su extremo oriental está sometido a la influencia de corrientes y vientos cálidos del Golfo de California. La precipitación media anual es de ~120 mm en el lado del Pacífico y de ~80 mm en la vertiente del Golfo (promedios de cuatro y dos estaciones, respectivamente, 1957-2009) (Figura 2). Lo característico del régimen de precipitación son los grandes sistemas frontales en invierno y un monzón con precipitación en el verano derivada de tormentas tropicales y subtropicales del Pacífico oriental (Salinas-Zavala *et al.*, 2002).

La vegetación y la flora corresponden en gran medida a la subregión Vizcaíno del Desierto Sonorense y en menor medida a la subregión de la Costa del Golfo (Shreve, 1964). La vegetación incluye una sorprendente diversidad de formas de vida, incluyendo esclerófilos siempre verdes, plantas suculentas de mesófilo arosetado, arbustos de hoja caduca, cactus en una variedad de formas, árboles de madera blanda y otras combinaciones de rasgos en hoja, tallo y raíz. La región de estudio está inmersa en su mayor parte dentro del área natural protegida para flora y fauna "Valle de los Cirios".

Materiales y métodos

Utilizamos imágenes de Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) que constituyen un recurso valioso debido a su acervo histórico y cobertura mundial, adecuada resolución espacial, y registro radiométrico; tiene amplio uso en estudios de seguimiento a los sistemas de producción de especies cultivadas y de ecología. Por otro lado, la línea del suelo representa una relación robusta en reflectancia entre el rojo y el infrarrojo cercano de un tipo de suelo individual (Richardson y Wiegand, 1977; Yoshioka *et al.*, 2010): $NIR = \beta_1 R + \beta_0$, donde β_1 es la pendiente de la línea del suelo y β_0 es el intercepto. El procesamiento de las imágenes incluyó las correcciones radiométrica, ambiental, atmosférica y topográfica, todas aplicadas en ERDAS v.9.2.

La corrección atmosférica, que consiste en restar de cada pixel el valor del objeto más oscuro (Chávez, 1988) es de los tratamientos más importantes debido a la fuerte influencia del Océano Pacífico y del Golfo de California (Figura 1). Las diferencias en iluminación solar por la topografía irregular, se tratan con la corrección topográfica. Según Riaño *et al.* (2003), las zonas sombreadas resultan en reflectancia menor a la esperada, mientras que en áreas iluminadas el efecto es el opuesto. Para derivar la reflectancia superficial, el

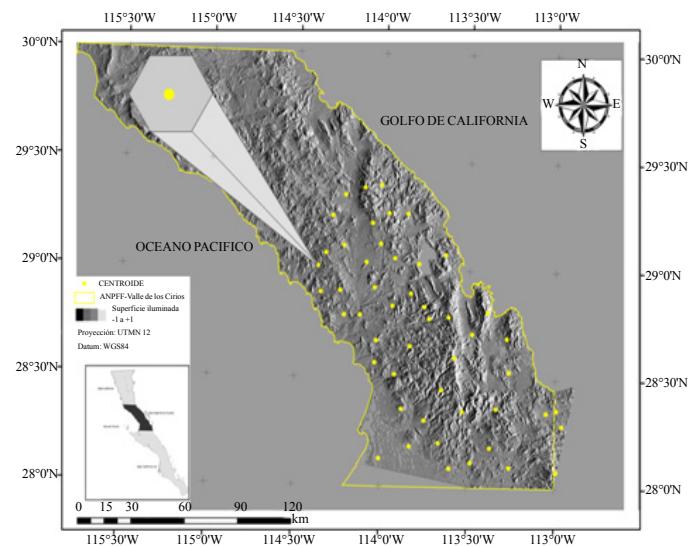


Figura 1. Distribución de los 50 sitios de estudio al sur de Baja California, México.

Figure 1. Distribution of the 50 study sites in southern Baja California, Mexico.

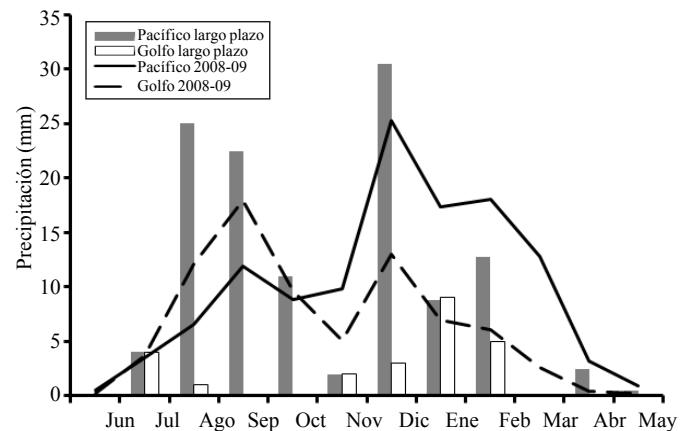


Figura 2. Lluvia histórica promedio (1957-2009) para cuatro estaciones en la península central y cercanas a la costa del Pacífico (Chapala, San Borja, Rosarito y Rancho Alegre) comparadas a dos estaciones en la costa del Golfo (Bahía de los Ángeles y El Barril) y lluvia en el año de estudio (2008-2009) comparado entre estaciones del Pacífico (Chapala y Rosarito) y el Golfo (Bahía de los Ángeles). Datos: Comisión Nacional del Agua (CNA).

Figure 2. Average historical rain (1957-2009) in four stations in the central peninsula near the Pacific coast (Chapala, San Borja, Rosarito and Rancho Alegre) compared to two stations in the Gulf Coast (Bahía de los Ángeles and El Barril); and comparison of rain in the year of study (2008-2009) between stations in the Pacific (Chapala and Rosarito) and the Gulf (Bahía de los Ángeles). Data: National Water Commission (CNA).

método utiliza un modelo digital de elevación (MDE) de un segundo de arco (c. ~28 m; datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Aguascalientes, México), para calcular un valor angular por celda y, de la imagen utiliza el ángulo de elevación solar, los parámetros de calibración para *gain/bias* de cada banda y la fecha de toma de la imagen.

Se calcula la distancia aproximada de la tierra al sol y el ángulo incidente (γ_i), definido como el ángulo entre la normal al terreno y los rayos del sol (Civco, 1989). La superficie de iluminación (SI), la cual varía de -1 a +1, fue calculada según:

$$SI = \cos\gamma_i = \cos\theta_p \cos\theta_z + \sin\theta_p \sin\theta_z \cos(\theta_a - \theta_0) \quad (1)$$

Donde: θ_p es el ángulo de la pendiente; θ_z es el ángulo cenital solar; θ_a es el ángulo de azimut solar; y θ_0 es el ángulo de exposición. El valor así calculado de reflectancia para cada píxel es apropiado para áreas naturales, con cobertura del suelo muy expuesta y baja cobertura vegetal (Vercher *et al.*, 2002).

La estacionalidad de la vegetación se abordó a través de 14 imágenes Landsat, sustancialmente libres de nubosidad. Las fechas corrieron desde comienzos del verano (temporada de secas) pasando por otoño e invierno (temporada de lluvias), hasta finales de primavera de 2009: específicamente, 06 de julio, 07 de agosto, 08 de septiembre, 10 de octubre, 26 de octubre, 11 de noviembre, 29 de diciembre, 14 de enero, 30 de enero, 3 de marzo, 19 de marzo, 4 de abril, 20 de abril y 06 de mayo.

Para enlazar los datos radiométricos y la mejor representación del paisaje, se usaron polígonos hexagonales de 5.4 ha (~60 píxeles) como la unidad básica de muestreo. En el esquema hexagonal, todos los vecinos son equidistantes y cada par de celdas vecinas es único. En una cuadrícula, no está claro qué parte de la variación se explica por la configuración espacial en sí, cuando los valores entre vecinos en la horizontal y vertical se comparan con los valores en dirección diagonal. Los seis triángulos equiláteros que forman la trama hexagonal pueden usarse para registrar frecuencias y son más fáciles de ubicar en el campo (Jurasinsky, 2010). Los polígonos se ubicaron por criterios estrictamente al azar, con restricción de distancia mínima de separación de 10 km (Figura 1).

La media de la reflectancia para cada sitio, se utilizó para calcular el NDVI (Ec. 2) (Rouse *et al.*, 1973), SAVI (Ec. 3) (Huete, 1988), TSAVI (Ec. 4) (Baret y Guyot, 1991) y NDII (Ec. 5) (Hardisky *et al.*, 1983). LAI se puede aproximar con cierta justificación física con una relación de tres parámetros (Baret y Guyot, 1991; Richter, 2010).

The vegetation and flora largely correspond to the Vizcaino subregion of the Sonoran Desert, and to a lesser extent to the Gulf Coast subregion (Shreve, 1964). The vegetation includes a surprising diversity of life forms, including evergreen sclerophyllous plants, succulent plants with compound leaves, deciduous shrubs, a variety of cactus, softwoods and other combinations of leaves, stems and roots. The study region is mostly within the protected area for flora and fauna "Valle de los Cirios".

Materials and methods

We used images from Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*), which constitutes a valuable resource because of its historical and global coverage, adequate spatial resolution and radiometric logging; it is widely used in follow-up studies of the production systems of crop species and in ecological ones. Furthermore, the soil line represents a robust relationship in terms of reflectance between the red and near infrared of a single soil type (Richardson and Wiegand, 1977; Yoshioka *et al.*, 2010): $NIR = \beta_1 R + \beta_0$ where β_1 is the slope of the soil line and β_0 is the intercept. The image processing included radiometric, environmental, atmospheric and topographic corrections, all implemented in ERDAS v.9.2.

The atmospheric correction, which consists in subtracting from each pixel the value of the darkest object (Chávez, 1988), is one of the most important treatments due to the strong influence of the Pacific Ocean and the Gulf of California (Figure 1). The differences in solar illumination that arise because of the irregular topography are treated with the topographic correction. According to Riaño *et al.* (2003), the shaded areas produce a lower than expected reflectance, while the bright areas produce the opposite effect. To derive the surface reflectance, the method uses a digital elevation model (DEM) of a second of arc (c. ~28 m; data from the National Institute of Statistics and Geography (INEGI), Aguascalientes, Mexico) to calculate an angle value per cell; from the image it uses the solar elevation angle, the calibration parameters for *gain/bias* of each band and the date of capture of the image.

The approximate distance from the earth to the sun is calculated, as well as the incident angle (γ_i), defined as the angle between the normal to the ground and the sun's rays (Civco, 1989). The illuminated surface (LS), which ranges from -1 to +1, was calculated as:

$$NDVI = \frac{NIR_{0.76-0.90} - RED_{0.63-0.69}}{NIR_{0.76-0.90} + RED_{0.63-0.69}} \quad (2)$$

$$SAVI = \frac{(NIR_{0.76-0.90} - RED_{0.63-0.69}) * 1.5}{(NIR_{0.76-0.90} + RED_{0.63-0.69} + 0.5)} \quad (3)$$

$$TSAVI = \frac{\beta_1 (NIR - \beta_1 R - \beta_0)}{\beta_0 NIR + R - \beta_1 \beta_0 + X(1 + \beta_1^2)} \quad (4)$$

$$NSII = \frac{(NIR_{0.76-0.90} - SWIR_{1.550-1.750})}{(NIR_{0.76-0.90} + SWIR_{1.550-1.750})} \quad (5)$$

$$LAI = -\frac{1}{a_2} \ln \left[\frac{a_0 - VI}{a_1} \right] \quad (6)$$

En la Ec. 6, VI es el valor del índice; a_0 está relacionado con el coeficiente de extinción; a_1 es el valor del índice que corresponde a suelo desnudo y a_2 es el valor de índice cuando LAI tiende al valor de saturación (∞). Debido a que es difícil ajustar los parámetros para diferentes sitios y temporadas, el fijarlos ha sido sugerido para estudios multitemporales, y en el presente estudio, a_0 , a_1 y a_2 se mantuvieron constantes en 0.72, 0.61 y 0.65. Los valores absolutos resultantes para LAI pueden no tener correspondencia con la comunidad biótica, pero la tendencia estacional de la cubierta del suelo puede ser capturada (Richter, 2010). La eficiencia de los VI para derivar LAI, según Wu *et al.* (2007), depende de tres factores inherentes al VI: su estabilidad ante otros factores de perturbación, su sensibilidad a una unidad de cambio de LAI, y su rango dinámico. Para evaluar su eficacia, se calculó la relación señal-a-ruido usando la ecuación definida por (LePrieur *et al.*, 1994).

$$C = \frac{\int_{LAI_{min}}^{LAI_{max}} [MaxVI(LAI) - minVI(LAI)] d(LAI)}{VI(max LAI) - VI(min LAI)} \quad (7)$$

En la Ec. 7, el "ruido" se obtiene del área entre las curvas de máximos y mínimos (es decir, el producto del rango de variación del índice debido a cambios en las propiedades espectrales del suelo por el intervalo de LAI para el cual este rango es válido) (Gilabert *et al.*, 2002). Según esta razón, puede ser calculado si C es mayor a la unidad (Borel, 1996).

Resultados

Corrección topográfica de todos los índices

En lo que respecta a la corrección topográfica, la media para todos los índices, excepto para TSAVI, estuvieron altamente correlacionadas entre los tratamientos no corregidos (no

$$SI = \cos \gamma_i = \cos \theta_p \cos \theta_z + \sin \theta_p \sin \theta_z \cos(\theta_a - \theta_0) \quad (1)$$

Where: θ_p is the angle of the slope; θ_z is the solar zenith angle, θ_a is the solar azimuth angle, and θ_0 is the exposure angle. The reflectance value thus calculated for each pixel is appropriate for natural areas, with highly exposed soil cover and low vegetation cover (Vercher *et al.*, 2002).

The seasonality of the vegetation was addressed through 14 Landsat images, substantially free of clouds. The dates ran from early summer (dry season) through autumn and winter (rainy season), until the end of spring 2009; specifically: July 06, August 07, September 08, October 10, October 26, November 11, December 29, January 14, January 30, March 3, March 19, April 04, April 20 and May 06.

We used hexagonal polygons of 5.4 ha (~60 pixels) as the basic sampling unit in order to link the radiometric data and the best representation of the landscape. In the hexagonal pattern, all neighbors are equidistant and each pair of neighboring cells is unique. In a grid, it is unclear how much of the variation is explained by the spatial configuration itself when the values between horizontal and vertical neighbors are compared with the values in the diagonal direction. The six equilateral triangles that form the hexagonal grid can be used to record frequencies and are easier to locate in the field (Jurasinsky, 2010). The polygons were placed by strictly random criteria, with a restricted minimum separation distance of 10 km (Figure 1).

The mean reflectance for each site was used to calculate the NDVI (Eq. 2) (Rouse *et al.*, 1973), SAVI (Eq. 3) (Huete, 1988), TSAVI (Eq. 4) (Baret and Guyot, 1991) and NDII (Eq. 5) (Hardisky *et al.*, 1983). The LAI can be approximated, with some physical justification, using a ratio of three parameters (Baret and Guyot, 1991; Richter, 2010).

$$NDVI = \frac{NIR_{0.76-0.90} - RED_{0.63-0.69}}{NIR_{0.76-0.90} + RED_{0.63-0.69}} \quad (2)$$

$$SAVI = \frac{(NIR_{0.76-0.90} - RED_{0.63-0.69}) * 1.5}{(NIR_{0.76-0.90} + RED_{0.63-0.69} + 0.5)} \quad (3)$$

$$TSAVI = \frac{\beta_1 (NIR - \beta_1 R - \beta_0)}{\beta_0 NIR + R - \beta_1 \beta_0 + X(1 + \beta_1^2)} \quad (4)$$

$$NSII = \frac{(NIR_{0.76-0.90} - SWIR_{1.550-1.750})}{(NIR_{0.76-0.90} + SWIR_{1.550-1.750})} \quad (5)$$

$$LAI = -\frac{1}{a_2} \ln \left[\frac{a_0 - VI}{a_1} \right] \quad (6)$$

"iluminado") y corregidos. Con excepción de un valor atípico extremo, la correlación fue 0.999 para NDVI y NDII ($p < 0.0001$); para SAVI fue de 0.537 ($p = 0.058$) debido a dos valores atípicos. En el caso de TSAVI, la relación estuvo lejos de ser significativa ($p > 0.5$). Esto no es inesperado dada la estructura simple para calcular los tres primeros. TSAVI se vio fuertemente afectado y la aplicación de la corrección topográfica puede ser considerada un tratamiento esencial para su uso en regiones con topografía accidentada.

Sensibilidad de la línea del suelo a la corrección topográfica

El efecto de la iluminación del terreno sobre la línea del suelo realza la importancia de esta corrección al derivar TSAVI. El rango para la pendiente de la línea del suelo sobre los datos con la corrección topográfica fue de 0.34 a 5.88 entre todos los polígonos y fechas, mientras que sin la corrección fue de 0.30 a 2.61. La mayor dispersión de pendientes con iluminación fue en septiembre, mientras que los valores de no iluminado se observaron más diversos a finales de diciembre. Para el periodo de estudio y todos los polígonos, el coeficiente de regresión fue de 0.89 ± 0.149 para iluminados y 0.84 ± 0.176 para los no iluminados. Las pendientes fueron generalmente mayores para el tratamiento iluminado, hasta en un 20-40%, pero en algunos casos hasta por un orden de magnitud (Figura 3).

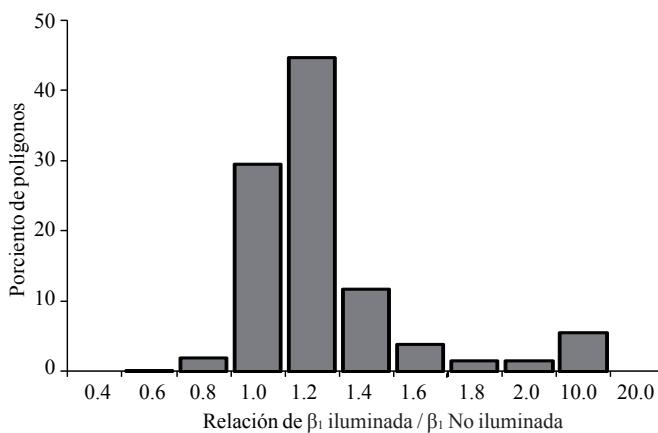


Figura 3. Histograma de la relación de las pendientes entre los tratamientos para la corrección topográfica.
Los datos son de cada uno de los 50 polígonos en las 14 fechas ($n=690$).

Figure 3. Histogram of the ratio between the slopes of each treatment, for topographic correction. The data are from each of the 50 polygons at the 14 dates ($n=690$).

En los consecuentes análisis, se utilizaron los datos de los índices con la corrección topográfica.

In Equation 6, VI is the index value; a_0 is related to the extinction coefficient; a_1 is the index value corresponding to bare soil, and a_2 is the index value when LAI tends to the saturation value (∞). As it is difficult to adjust the parameters for different sites and seasons, it has been suggested to fix them in multitemporal studies; therefore, in this study a_0 , a_1 and a_2 were held constant at 0.72, 0.61 and 0.65. The resulting absolute values for LAI may not correspond with the biotic community, but the seasonal trend of soil cover could be captured (Richter, 2010). The efficiency of the VI to derive LAI, according to Wu *et al.* (2007), depends on three factors inherent to VI: its stability to other stressors, its sensitivity to a unit change in LAI, and its dynamic range. To evaluate its efficiency, we calculated the signal-to-noise ratio using the equation defined as (LePrieur *et al.*, 1994).

$$C = \frac{\int_{LAI_{min}}^{LAI_{max}} [MaxVI(LAI) - minVI(LAI)]d(LAI)}{VI(max LAI) - VI(min LAI)} \quad (7)$$

In Equation 7, the "noise" is derived from the area between the maximum and minimum curves (i.e., the product between the index variation range due to changes in the spectral properties of the soil, and the LAI interval for which this range is valid) (Gilabert *et al.*, 2002). According to this, it can be calculated if C is greater than the unit (Borel, 1996).

Results

Topographic correction of all indexes

With respect to the topographic correction, there was a high correlation between the means of all indexes, except for TSAVI, for uncorrected (non-illuminated) and corrected treatments. With the exception of an extreme outlier, the correlation was 0.999 for NDVI and NDII ($p < 0.0001$); for SAVI it was 0.537 ($p = 0.058$) due to the presence of two outliers. For TSAVI, the relationship was far from being significant ($p > 0.5$). This is not unexpected given the simple structure needed to calculate the first three. TSAVI was strongly affected by topography, so applying a topographic correction could be considered an essential treatment for using this index in regions of rough topography.

Sensitivity of the soil line to topographic correction

The effect of ground illumination on the soil line highlights the importance of this correction when deriving TSAVI. The range of the slope of the soil line from the data with

Tendencia temporal en los índices

Los cuatro índices registraron su media máxima regional a principios de septiembre de 2008 (Figura 4a), que fue tal vez tan notable por su disminución subsecuente, y que se puede atribuir a la tormenta tropical "julio" de finales de agosto como un pulso al ecosistema. Sólo NDII mostró un patrón que pudiera corresponder a las lluvias de invierno (Figura 4 y 2), mientras que los otros índices, al menos en sus promedios regionales, no difirieron mucho de los valores mínimos observados en julio y a principios de agosto de 2008. TSAVI fue notablemente más plano en su patrón durante todo el periodo de análisis, NDVI fue 150% de SAVI de octubre a mayo. Las correlaciones entre polígonos y entre fechas de NDVI y SAVI fueron de 0.63 y 0.65 antes de una tormenta tropical en agosto, entre 0.77 y 0.91 hasta marzo y más variable en abril y mayo (todos $p < 0.001$). Ambos índices mostraron correlaciones similares con NDII, de -0.42 a -0.22 en pleno verano, un pico de correlación de 0.67 a principios de septiembre, seguido por una disminución gradual hasta aproximadamente 0.5 a principios de marzo, y valores bajos (alternadamente positivos y negativos) avanzada la temporada de crecimiento.

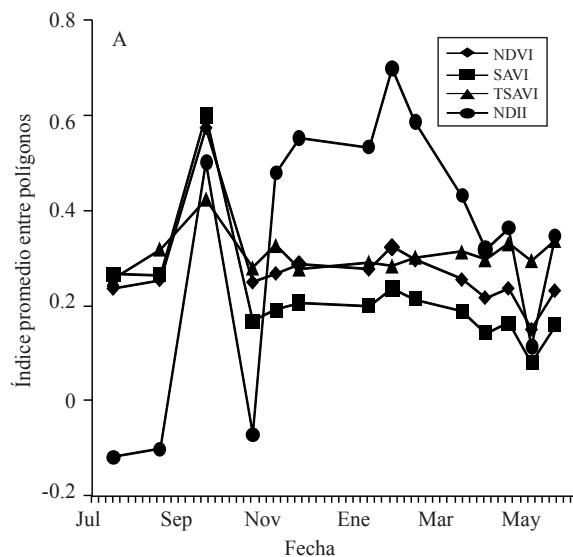


Figura 4. a) Tendencia temporal de la media entre los polígonos de NDVI, SAVI, TSAVI y NDII en 2008-9; y b) Evolución de la asimetría (skewness) entre las medias de polígonos. Sólo se muestran valores con $p < 0.05$ en la prueba de Shapiro-Wilks.

Figure 4. a) Temporal trend of the mean between the polygons of NDVI, SAVI, TSAVI and NDII in 2008-2009; and b) Evolution of the asymmetry (skewness) between the means of the polygons. Only values with $p < 0.05$ in the Shapiro-Wilks test are shown.

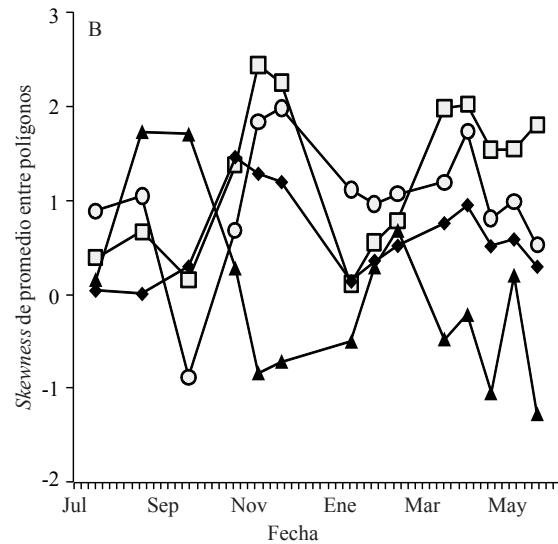
La relación entre la media y la desviación estándar entre los polígonos no fue significativa para NDVI ($p > 0.1$) en sorprendente contraste con SAVI ($r = 0.96, p < 0.001$) y en menor medida NDII ($r = 0.76, p < 0.01$) y TSAVI ($r = 0.64, p < 0.02$). Los coeficientes de variación entre la media

topográfica correction was 0.34-5.88 among all polygons and dates, whereas without correction it was 0.30-2.61. The greatest dispersion of slopes with illumination occurred in September, while non-illuminated values were more diverse in late December. For the study period and all polygons, the regression coefficient was 0.89 ± 0.149 for illuminated ones, and 0.84 ± 0.176 for non-illuminated. The slopes were generally higher by up to 20-40% for the illuminated treatment, but in some cases by up to an order of magnitude (Figure 3).

In the consequent analyses we used data from indexes with topographic correction.

Temporal trends in the indexes

The four indexes recorded their maximum regional mean in early September 2008 (Figure 4a), which was perhaps so remarkable because of their subsequent decline, which can be attributed to the tropical storm "July" that occurred in late August as a pulse to the ecosystem. Only NDII showed a pattern that might correspond to the winter rains (Figure 4 and 2), while the other indexes, at least with respect to their



regional averages, did not differ much from the minimum values observed in July and early August 2008. TSAVI had a noticeably flatter pattern throughout the period of analysis; NDVI was 150% of SAVI from October to May. The correlations between polygons and dates of NDVI and SAVI

de los polígonos fue similar para NDVI, SAVI y NDII (respectivamente, 0.219, 0.276 y 0.245), pero mayor para TSAVI (0.467).

La asimetría (Joanes y Gill, 1998) fue más variable que la media del índice excepto quizás para NDII (Figura 4b). En general fue positiva (derecha) y significativa en los tres índices en octubre, noviembre y marzo. NDII tuvo un sesgo significativo en 12 de 14 fechas, con un valor negativo solo a principios de septiembre. Para TSAVI, la asimetría fue común, más variable en el tiempo, y negativa cuando los otros índices tuvieron picos de asimetría positiva.

Índice de área foliar estimado y relación señal-a-ruido (SNR)

La relación señal-a-ruido promedio para cada polígono para cada fecha se comparó entre los índices (Figura 5). SAVI y TSAVI tuvieron mayor señal que NDVI, por factores de aproximadamente 2.5 y 4, respectivamente, en el verano de 2008. A finales del otoño e invierno, las SNR's fueron muy similares con erráticas y notables excepciones. En marzo y abril, la SNR en $\text{LAI}_{\text{TSAVI}}$ aumentó notablemente mientras que la de LAI_{SAVI} disminuyó y se mantuvo ligeramente por debajo de la SNR para LAI_{NDVI} .

Discusión

Para el cálculo de los índices de vegetación, la estructura de los índices de relación simple evita la necesidad de una corrección para topografía. Para un pixel específico, el ángulo normal de visada de la superficie y el ángulo normal solar a la superficie solar son constantes para todas las bandas, por lo tanto, el contraste de bandas puede eliminar el efecto directo de la topografía (Matsushita *et al.*, 2007). Sin embargo, el efecto topográfico no puede pasarse por alto para los índices con ajustes más complejos para los efectos del suelo como TSAVI, y muchos más que resultan de las combinaciones lineales de dos o más bandas espectrales o que incorporan parámetros de ajuste de naturaleza empírica o numérica.

En consideración a que los grupos funcionales de plantas en esta región tienen menos de 30% de cobertura de dosel, lo cual es mayor que la suma de hojas y tallos, dos formas de compensación para reflectancia del suelo se examinaron aquí. La primera conlleva una leve modificación de

were 0.63 and 0.65 before a tropical storm in August; between 0.77 and 0.91 until March, and more variable in April and May (all $p < 0.001$). Both indexes showed similar correlations with NDII: -0.42 to -0.22 in midsummer, a correlation peak of 0.67 in early September, followed by a gradual decline to about 0.5 in early March, and low values (alternately positive and negative) late in the growing season.

The relationship between the mean and the standard deviation of the polygons for NDVI ($p > 0.1$) was not significant, in striking contrast with SAVI ($r = 0.96, p < 0.001$), and to a lesser extent with NDII ($r = 0.76, p < 0.01$) and TSAVI ($r = 0.64, p < 0.02$). The coefficients of variation between the mean of the polygons were similar for NDVI, SAVI and NDII (0.219, 0.276 and 0.245 respectively), but higher for TSAVI (0.467).

The asymmetry (Joanes and Gill, 1998) was more variable than the mean of the index, except perhaps for NDII (Figure 4b). Overall, the asymmetry was positive (straight) and significant in all three indexes in October, November and March. NDII had a significant bias in 12 of 14 dates, with a negative value only in early September. For TSAVI, the asymmetry was common, more variable in time, and negative when the other indexes had peaks of positive asymmetry.

Estimated leaf area index and signal-to-noise ratio (SNR)

The average signal-to-noise ratio for each polygon and date of each index were compared (Figure 5). SAVI and TSAVI had higher signal than NDVI in the summer of 2008, by factors of about 2.5 and 4, respectively. In late fall and winter, the SNR's were very similar, with notable and erratic exceptions. In March and April, the SNR of $\text{LAI}_{\text{TSAVI}}$ increased significantly, while that of LAI_{SAVI} decreased and remained slightly below the SNR for LAI_{NDVI} .

Discussion

The simple relationship structure of the indexes avoids the need for a topographic correction in the calculation of the vegetation indexes. For a particular pixel, the normal aiming angle of the surface and the normal solar angle to the surface are constant for all bands; therefore, contrasting the bands can eliminate the direct effect of topography (Matsushita *et al.*, 2007). However, the topographic effect cannot be ignored for indexes with more complex adjustments for the effects of

NDVI para SAVI (Ec. 3), pero el valor del parámetro de cobertura es difícil de justificar, y como se mostró aquí, la modificación no produce nueva información significativa. La reflectancia del suelo claramente debería depender de la variación intra-regional por la óptica de los minerales en las rocas, el tamaño de las partículas en la superficie, las costras del suelo para reacciones físico químicas y biológicas, de los desechos de las plantas y la humedad (Escadafal *et al.*, 2011).

Considerando la diversidad de formas y grupos funcionales en el área de estudio, así como su extensión, la estimación de las líneas del suelo sub-regionales la consideramos esencial. Con base en el área de los polígonos, los resultados fueron muy buenos en términos de los coeficientes de regresión de las líneas del suelo. Las variaciones temporales en los parámetros de la línea de suelo se esperaban también (Baret *et al.*, 1993). Esto justifica el procedimiento de cálculo de la línea del suelo para cada polígono para cada fecha.

Debido a que NDVI y SAVI se derivaron de las mismas bandas espectrales y difieren sólo en constantes arbitrarias, no es sorprendente que generalmente estuvieran estrechamente relacionados. Sin embargo, los dos no son equivalentes, como se demostró por: 1) las diferencias estacionales en relación con otros promedios regionales; 2) contrastes en la variabilidad entre los sitios; 3) diferente sensibilidad a la corrección topográfica; y 4) las diferencias estacionales en la relación señal-a-ruido del LAI derivado de uno u otro índice. Estos dos índices podrían variar aún más si las constantes en SAVI estuvieran sujetos a ajustes significativos basados en datos específicos de campo (Gilabert *et al.*, 2002).

El índice NDII, se ha utilizado para mostrar las variaciones en el contenido de agua de la cubierta de suelo (Ceccato *et al.*, 2002). En una región de clima mediterráneo, un resultado notable fue que NDII mostró fuertes patrones correspondientes a la precipitación a pesar de tratar vegetación esclerófila. En nuestra región de estudio, los índices de verdor también se incrementaron brevemente después de la tormenta tropical, pero fue difícil de percibir una respuesta clara a la precipitación de invierno, ni por picos ni por extensión. De hecho, sus valores estuvieron típicamente cerca o por debajo de los observados en condiciones de sequía fuerte a mediados del verano. Los cambios menores de octubre a abril, tal vez convexos para NDVI y SAVI, y el incremento de TSAVI, fueron inesperadamente débiles para un año con precipitación mayor a la normal.

soil such as TSAVI and many more that result from the linear combinations of two or more spectral bands or that incorporate empirical or numerical adjustment parameters.

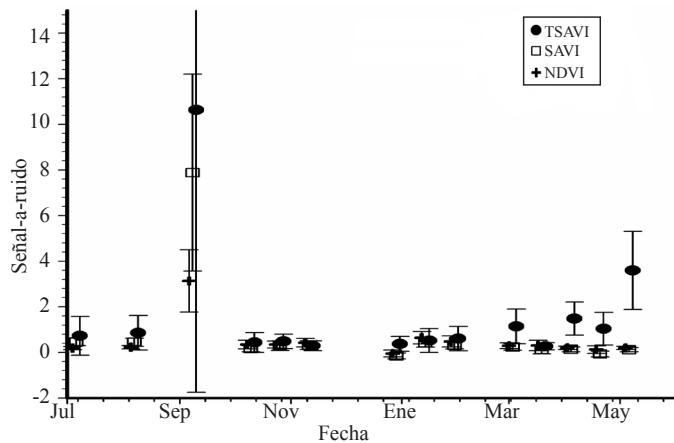


Figura 5. Relación señal-a-ruido para el índice de área foliar estimado a partir de índices de la vegetación. La media entre polígonos para cada fecha de SAVI y TSAVI se compara con la derivada de NDVI.

Figure 5. Signal-to-noise ratio for the leaf area index estimated from vegetation indexes. The mean between polygons for each date in SAVI and TSAVI was compared to the mean derived from NDVI.

Considering that the functional groups of plants in this region have a canopy cover of less than 30%, which is greater than the sum of leaves and stems, we examined two ways of compensating for ground reflectance. The first involves a slight change of NDVI for SAVI (Eq. 3), but the coverage parameter value is difficult to justify, and, as shown here, the change does not produce significant new information. Clearly, soil reflectance should depend on the intra-regional variation due to the optics of the minerals in the rocks, on the size of surface particles, the soil crusts from physico-chemical and biological reactions, the plant wastes and moisture (Escadafal *et al.*, 2011).

Considering the diversity of forms and functional groups in the study area, as well as its extension, we consider essential to estimate the subregional soil lines. Based on the area of the polygons, the results were very good in terms of the regression coefficients of the soil lines. The temporal variations in the parameters of the soil lines were also expected (Baret *et al.*, 1993). This justifies the procedure for calculating the soil line for each polygon for each date.

Because NDVI and SAVI were derived from the same spectral bands and differ only in arbitrary constants, it is not surprising that they were often closely related. However, the

Puede ser productivo para futuras investigaciones, considerar la importancia de las diferentes formas de vida en la cubierta del suelo, ya que éstas pueden ocasionar, por sus características morfológicas y fisiológicas, respuestas diferentes en los cuatro índices, en el espacio y el tiempo. Las bandas NIR y SWIR [utilizadas en NDII] son las bandas necesarias para obtener indicadores de humedad en el dosel y pueden caracterizar mejor las variaciones fotosintéticas en arbustos de hoja caduca o en sequía, en esclerófilo siempre verde o especies de tallo suculento. Por otro lado, el espectro de reflectancia de las hojas en particular y tallos fotosintéticos tan comunes de esta región, no ha sido objeto de investigación exploratoria o sistemática por lo cual se abre un abanico de posibilidades.

Es de notarse el hecho de que todos los índices tuvieran valores más bajos a finales de primavera que en el verano más seco a mediados del año anterior. Una variación estacional fuerte en la reflectancia del suelo requiere de más estudios, pero podría estar relacionado con un cambio generalizado en la humedad cerca de la superficie, o a una disminución de la actividad en las costras criptogámicas que podrían ser favorecidos por neblinas a principios del verano. A este respecto, las micrófitas reflejan de manera similar que las plantas vasculares y sus valores de NDVI pueden ser tan altos como 0.30 unidades (Karnieli *et al.*, 1996, 2002). Además, con los dos índices por debajo de 0.18 a finales de primavera, sus incrementos en Mayo son de notarse.

La variación de los índices de vegetación entre los sitios es claramente no aleatoria en el tiempo, como se muestra arriba. Además, parece probable que las diferencias en el desarrollo de la vegetación podrían estar afectadas por la variación en las características del terreno que deben afectar los balances de energía y del agua a través de procesos tales como el flujo de radiación local, los patrones climáticos regionales y los procesos pedogénicos, que operan en escalas de tiempo diferentes. Desde hace tiempo se reconoce que las variables del terreno (elevación, exposición y pendiente) afectan los balances de calor e hídrico del suelo y de la vegetación (Franklin *et al.*, 2000). El presente análisis sugiere que los índices más apropiados para estudios de estos efectos sería TSAVI en cuanto a verdar y NDII para la humedad de la vegetación.

Conclusiones

La comparación de NDVI, SAVI, TSAVI y NDII, en el contexto de los ecosistemas áridos y semiáridos en la parte central de la península de Baja California, demostró que las

two are not equivalent, as demonstrated by: 1) the seasonal differences in relation to other regional averages; 2) the contrasts in the variability between sites; 3) the different sensitivities to topographic correction; and 4) the seasonal differences in the signal-to-noise ratio of the LAI derived from either index. These two indexes could vary even more if the constants in SAVI were subject to significant adjustments based on specific field data (Gilabert *et al.*, 2002).

The NDII index has been used to show the variations in the water content of the soil cover (Ceccato *et al.*, 2002). In a Mediterranean climate region, a remarkable result was that, despite the sclerophyll vegetation, NDII showed strong patterns corresponding to precipitation. In our study region, the greenness indexes also increased briefly after the tropical storm, but it was difficult to perceive a clear response to winter precipitation, by peaks or by extension. In fact, their values were typically near or below those observed in severe drought conditions in mid-summer. The minor changes from October to April, convex perhaps for NDVI and SAVI, and the increase of TSAVI, were unexpectedly weak for a year with above normal precipitation.

It could be fruitful in future research to consider the importance of the different life forms in the soil cover, as these can cause, due to their morphological and physiological characteristics, different responses in the four indexes, both in space and time. NIR and SWIR bands [used in NDII] are the necessary bands to obtain indicators of moisture in the canopy and can characterize better the photosynthetic variations in deciduous shrubs or in drought, in evergreen sclerophyllous plants or in succulent stem species. Furthermore, the reflectance spectrum of leaves, in particular, and of the photosynthetic stems so common in this region, has not been the subject of systematic or exploratory investigations, which opens a range of possibilities.

It is worth noting that all indexes had lower values in late spring than in the drier summer in the middle of the previous year. A strong seasonal variation in the reflectance of the soil requires further study, but may be related to a widespread change in the moisture near the surface, or to a decrease in the activity of cryptogamic crusts, both of which changes might be favored by the early mists of summer. In this respect, microphytes reflect in a similarly way to vascular plants, and their NDVI values can be as high as 0.30 (Karnieli *et al.*, 1996, 2002). Moreover, considering that the two indexes were below 0.18 in late spring, their increases in May are worth noting.

variaciones espaciales y temporales no son estrictamente paralelas, aunque las diferencias entre NDVI y SAVI son relativamente menores. Los índices difirieron no sólo en sus propiedades estadísticas, sino en ruidosidad cuando se aplicaron para estimar el índice de área foliar, y en sus respuestas al clima cambiante y al sustrato. TSAVI y NDII fueron los más informativos sobre el estado y la variabilidad de los sistemas, aunque sus resultados, y por lo tanto su utilidad potencial, fueron muy distintos. La comparación instructiva de éstos índices se vio muy reforzada por el estudio multitemporal, multifacético en una región vasta y de paisaje heterogénea.

Todos los índices respondieron bruscamente a un evento de lluvia aislado, durante el verano, mientras que su capacidad de reflejar las respuestas de la vegetación a la temporada de lluvias invernales no fueron evidentes en forma de pulsos, sino muy débiles y amplias, con la notable excepción de una respuesta fuerte y clara de NDII. La insensibilidad a la temporada de lluvias en invierno demanda mayores estudios. Valores mayores de los índices a mediados de verano después de una sequía prolongada, que en pleno invierno o a principios de primavera, también merecen atención; se puede indicar que este podría ser un aporte importante al valor de los índices de las costras criptogámicas del suelo.

Agradecimientos

Los autores desean manifestar su gratitud al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SEMARNAT-CONACYT Proyecto: 23777) por su apoyo técnico y financiero.

Literatura citada

- Asrar, G.; Myneni, R. B.; Li, Y. and Kanemasu, E. T. 1989. Measuring and modeling spectral characteristics of a tallgrass prairie. *Remote Sens. Environ.* 27:143-155.
- Baret, F. and Guyot, G. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.* 35:161-173.
- Baret, F.; Jackquemoud, S. and Hanocq, J. F. 1993. About the soil line concept in remote sensing. *Remote Sens. Rev.* 5:281-284.

The variation of the vegetation indexes between sites is clearly not random with respect to time, as shown above. Furthermore, it seems likely that differences in the development of vegetation could be affected by the variation of terrain features, which should affect the energy and water balances through processes such as the local radiation flow, regional weather patterns and pedogenic processes, all of which operate on different time scales. It has long been recognized that field variables (elevation, slope and exposure) affect the heat and water balances of soil and vegetation (Franklin *et al.*, 2000). This analysis suggests that the most appropriate indexes for studying these effects would be TSAVI for greenness, and NDII for vegetation moisture.

Conclusions

The comparison of NDVI, SAVI, TSAVI and NDII, in the context of arid and semiarid ecosystems in the central part of the peninsula of Baja California, showed that the spatial and temporal variations are not strictly parallel, although the differences between NDVI and SAVI are relatively minor. The indexes differed not only with respect to their statistical properties, but also in noisiness when used to estimate the leaf area index, and in their responses to the changing climate and substrate. TSAVI and NDII were the most informative on the state and variability of the systems, although their results, and, therefore, their potential usefulness, were very different. The instructive comparison of these indexes was greatly enhanced by the multi-temporal, multifaceted study of a vast region with a heterogeneous landscape.

All indexes responded sharply to an isolated rainfall event during the summer, while their ability to reflect the responses of vegetation to the winter rainy season were not pulse-like, but very weak and broad, with the notable exception of a strong and clear response of NDII. The insensitivity to the winter rainy season demands further study. Higher values of the indexes in mid-summer, after a prolonged drought, than in winter or early spring, also deserve attention; it could be indicated that this could be an important contribution to the cryptogamic soil crusts values of the indexes.

End of the English version



- Berterretche, M.; Hudak, A. T.; Cohen, W. B.; Maiersperger, T. K.; Gower, S. T. and Dungan, J. 2005. Comparison of regression and geostatistical methods for mapping leaf area index (LAI) with Landsat ETM+ data over a boreal forest. *Remote Sens. Environ.* 96:49-61.
- Borel, C. C. 1996. Nonlinear spectral mixing theory to model multispectral signatures. *Proc. Applied Geologic Remote Sens. Conf.* 2:11-30. OSTI 195673.
- Ceccato, P.; Flasse, S. and Grégoire, J. M. 2002b. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data. Part 2. Validation and applications. *Remote Sens. Environ.* 82:198-207.
- Chavez, Jr., P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sens. Environ.* 24:459-479.
- Cheng, Y. B.; Ustin, S. L.; Riaño, D. and Vanderbilt, V. C. 2008. Water content estimation from hyperspectral images and MODIS indexes in Southeastern Arizona. *Remote Sens. Environ.* 112:363-374.
- Chuvieco, E.; Riano, D.; Aguado, I. and Cacer, D. 2002. Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper reflectance data: applications in fire danger assessment. *Int. J. Remote Sens.* 23:2145-2162.
- Civco, D. L. 1989. Topographic normalization of Landsat Thematic mapper digital imagery. *PERS* 55:1303-1309.
- Escadafal, R.; Albinet, F. and Simonneaux, V. Arid land cover change trend analysis with series of satellite images for desertification monitoring in Northern Africa. <http://www.isprs.org/publications/related/ISRSE/html/papers/953.pdf> (consultado marzo, 2011).
- Franklin, J.; McCullough, P. and Gray, C. 2000. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California, en: terrain analysis: principles and applications, Wilson, J. P. and Gallant, J. C. (Eds.). John Wiley and Sons, Inc. Canada. 331-353 pp.
- Gilabert, M. A.; Piqueras-González, J. García-Haro, F. J. and Meliá, J. 2002. A generalized soil-adjusted vegetation index. *Remote Sens. Environ.* 82:303-310.
- Gonsamo-Gosa, A. 2009. Remote sensing of leaf area index: enhanced retrieval from close-range and remotely sensed optical observations. Academic Dissertation, Department of Geography, Faculty of Science, University of Helsinki, Finland.
- Green, E. P.; Murnby, P. J.; Edwards, A. J.; Clark, C. D. and Ellis, A. C. 1997. Estimating leaf area index of mangroves from satellite data. *Aquat. Bot.* 58:11-19.
- Hardisky, M. A.; Klemas, V. and Smart, R. M. 1983. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photo Eng. Rem. S.* 49:77-83.
- Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25:295-309.
- Jarvis, P. G. and Leverenz, J. W. 1983. Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests, In: *Physiological Plant Ecology IV. Ecosystem processes: mineral cycling, productivity and man's influence*. Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B. y Ziegler, H. (Eds.). Springer-Verlag, Berlin. 233-280 pp.
- Joanes, D. N. and Gill, C. A. 1998. Comparing measures of sample skewness and kurtosis. *The statistician* 47:183-189.
- Jurasinski, G. Why hexagons? Systematic grids-optimizing cell arrangement. <http://homepage.mac.com/terhorab/gerald/downloads/whyhexagons.pdf>. (consultado abril, 2010).
- Karnieli, A.; Gabai, A.; Ichoku, C.; Zaady, E. and Shachak, M. 2002. Temporal dynamics of soil and vegetation spectral responses in a semi-arid environment. *Int. J. Remote Sens.* 23(19):4073-4087.
- Karnieli, A.; Shachak, M.; Tsoar, H.; Zaady, E.; Kaufman, Y.; Danin, A. and Porter, W. 1996. The effect of microphytes on the spectral reflectance of vegetation in semiarid regions. *Remote Sens. Environ.* 57:88-96.
- LePrieur, D.; Verstraete, M. M. and Pinty, B. 1994. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve cover from AVHRR data. *Remote Sens. Rev.* 10:265-284.
- Matsushita, B.; Yang, W.; Chen, J.; Onda, Y. and Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors.* 7:2636-2651.
- Myneni, R. B.; Nemani, R. R. and Running, S. W. 1997. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. *IEEE T. Geosci. Remote.* 35:1380-1393.
- Riaño, D.; Chuvieco, E.; Salas, J. and Aguado, I. 2003. Assessment of different topographic correction in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE T. Geosci. Remote.* 41:1056-1061.
- Richardson, A. J. and Wiegand, C. L. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogramm. Eng. Rem. S.* 43:1541-1552.
- Richter, R. Atmospheric/topographic correction for airborne imagery. ATCOR 4-User guide. DLR German Aerospace Center. Wessling, Germany. ftp://ftp.dfd.dlr.de/put/richter/ATCOR/atcor4_manual_2010.pdf. (consultado marzo, 2010).
- Rouse, J. W.; Hass, R. H.; Schell, J. A. and Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1:309-317.
- Salinas-Zavala, C. A.; Douglas, A. V. and Diaz, H. F. 2002. Inter-annual variability of NDVI in Northwest Mexico. Associated climatic mechanisms and ecological implications. *Remote Sens. Environ.* 82:417-430.
- Shreve, F. 1964. Vegetation of the Sonoran Desert. In: vegetation and flora of the Sonoran Desert. Shreve, F. y Wiggins, I. Stanford University Press. Stanford, CA. 6-186 pp.
- Tian, Q.; Luo, Z.; Chen, J. M.; Chen, M. and Hui, F. 2007. Retrieving leaf area index for coniferous forest in Xingguo County, China with Landsat ETM+ images. *J. Environ. Manage.* 85:624-627.
- Toomey, M. and Vierling, L. A. 2005. Multispectral remote sensing of landscape level foliar moisture: techniques and applications for forest ecosystem monitoring. *Can. J. Forest Res.* 35:1087-1097.
- Turner, D. P.; Cohen, W. B.; Kennedy, R. E.; Fassnacht, K. S. and Briggs, J. M. 1999. Relationship between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zones sites. *Remote Sens. Environ.* 70:52-68.
- Vercher, A.; Gilabert, M. A.; Camacho de Coca, F. y Meliá, J. 2002. Influencia del ángulo cenital de iluminación en los índices de vegetación. *Revista de Teledetección.* 18:75-89.
- Wu, J.; Wang, D. and Bauer, M. E. 2007. Assessing broadband vegetation indices and QuickBird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies. *Field Crop Res.* 102:33-42.
- Yoshioka, H.; Miura, T.; Demattè, J. A. M.; Batchily, K. and Huete, A. R. 2010. Soil line influences on two band vegetation indices and vegetation isolines: a numerical study. *Remote Sensing.* 2:545-561.
- Zheng, G. and Moskal, M. 2007. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors. *Sensors.* 9:2719-2745.

Proyección económica de unidades representativas de producción en caprinos en la Comarca Lagunera, México*

Economic projection of representative production units of caprine cattle in the Comarca Lagunera region, Mexico

Ignacio Orona Castillo^{1§}, Dora Ma. Sangerman-Jarquín², Jacob Antonio-González³, Enrique Salazar Sosa¹, José Luis García Hernández¹, Agustín Navarro-Bravo² y Rita Schwentesius de Rindermann⁴

¹Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, km 28 Ejido Venecia, Durango. ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP, km 18.5 carretera Los Reyes-Lechería, A. P. 10. C. P. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México. Tel. y Fax. 01 595 9212681. (sangerman.dora@inifap.gob.mx). ³Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. (DGETA-BEDR 122). Nezahualcóyotl Núm. 110. Palacio Municipal, Colonia Centro. Texcoco, Estado de México. Tel. 595 1065738. (jacob_antonio@yahoo.com). ⁴Programa de Investigación en Agricultura Sustentable CIIDRI. Carretera México-Texcoco, km 38.8 Chapingo, Texcoco, Estado de México. Tel. 01 595 108 911. (rschwent@prodigy.net.mx). [§]Autor para correspondencia: orokaz@yahoo.com.

Resumen

La caprinocultura en México es importante por la cantidad de familias rurales que dependen de ésta, estimada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en 250 mil. Sin embargo, por tradición, para apoyar la actividad, el gobierno mexicano a través de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, considera que todos los productores dedicados a las cabras tienen condiciones tecnológicas iguales, y que todos se dedican a producir lo mismo. La realidad es que los productores son diferentes entre sí, por regiones, entidades y al interior mismo de una localidad, por lo que el tipo de apoyos que se canalice debe ser acorde a sus necesidades y características. El propósito de este trabajo es presentar la proyección de la viabilidad económica y financiera de una Unidad Representativa de Producción (URP) productora de leche y cabrito bajo un sistema de producción extensivo para el periodo 2008-2018 en el municipio de Lerdo Durango, ubicado en la región Comarca Lagunera, tomando como año base el comportamiento económico de las URP en 2008 y apartir de ello identificar qué componentes tecnológicos deben apoyarse para incrementar la rentabilidad de este tipo de sistema productivo. Los datos necesarios para llevar a cabo este estudio y formar

Abstract

In México, caprine cattle breeding is important due to the families living in rural areas who depend on the activity; according to estimations made by the National Institute for Statistics and Geography, there are about 250 thousand animals in México. Nevertheless, traditionally and so as to show support for this activity, the Mexican government, represented by the Ministry of Agriculture, Stockbreeding, Fishing and Food, considers that all the producers who breed goats have access to the same technology, and that all of them produce the same thing. In reality, producers have differences according to the region, entity and even within the same township, and so the type of support they receive must be according to their needs and characteristics. The objective of this paper is to present the economic and financial feasibility projection for a Representative Production Unit (URP, in Spanish), which would produce milk and kid, under an extensive production system for the period that goes from 2008-2018, in the municipality of Lerdo, Durango, located in the region known as Comarca Lagunera, taking as baseline year the economic behavior shown by the URP in 2008, and deriving from it the identification of the technologic components which need

* Recibido: mayo de 2012
Aceptado: febrero de 2013

la URP productora de leche y cabrito surgieron de paneles de productores realizados en el ejido La Loma, Durango. El análisis económico y de simulación se llevó a cabo en el modelo de simulación agroeconómica MexSim, cuyos resultados muestran un comportamiento futuro positivo a los productores dedicados a esta actividad que cuenten con un hato de 100 vientres y produzcan leche y cabrito.

Palabras clave: cabritos, leche de cabra, rentabilidad.

Introducción

La red mexicana de investigación en política agroalimentaria (AGROPROSPECTA, 2009), tuvo como principal objetivo generar análisis económico de política pública de manera oportuna respecto a los mercados agroalimentarios de México. Estuvo integrada (durante el período 2008 a 2010) por 45 investigadores(as) y académicos(as) mexicanos(as) especializados(as) en temas relacionados con la economía del sector agroalimentario de México.

En 2009- 2010, el equipo de investigadores(as) (AGROPROSPECTA, 2010), ubicado en la Facultad de Agricultura y Zootecnia, dependiente de la Universidad Juárez del estado de Durango desarrolló cuatro unidades representativas de producción (URP) de producción, ubicadas en las principales regiones productoras del país; en este caso, la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, y tres ubicadas en la Mixteca Poblana.

De acuerdo a las estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2011), la población caprina en México para el año 2009 fue de 8 952 144 cabezas y creció 3% durante el periodo 2000-2009.

En las condiciones semiáridas del norte de México, las cabras satisfacen sus necesidades nutritivas principalmente a través del consumo de la vegetación disponible; sin embargo, gran parte del año los forrajes no cuentan con los nutrientes suficientes para cubrir dichas necesidades (Mellado *et al.*, 1991; Azqueta, 2007; Baca, 2009), y sólo en los meses de verano los animales consumen los nutrientes necesarios para poder cubrir o exceder sus requerimientos (Ramírez *et al.*, 1996).

Cuando sus requerimientos básicos no logran ser cubiertos, comienzan a utilizar sus reservas corporales, con la consecuente pérdida de peso y condición corporal (Birkelo

support in order to increase the profitability of this kind of productive system. The data required to undertake this study and establish the milk and kid producing URP, came from panels of producers presented at the common land of La Loma, state of Durango. The economic and simulation analysis was realized within the agro-economic simulation model MexSim, which results show a positive behavior in the future for the producers focused in this activity, who own a herd of 100 breeding stock, and produce milk and kid.

Key words: kid, goat milk, profitability.

Introduction

The Mexican network for agro-alimentary policy research (AGROPROSPECTA, 2009), had the main objective of generating an economic analysis of the public policy, in a timely manner regarding the Mexican agro-alimentary markets. It was integrated (from 2008 through 2010) by 45 Mexican researchers and academics, specialized on subjects related to the economy of the agro-alimentary sector in Mexico.

In 2009-2010, the team of researchers (AGROPROSPECTA, 2010), based on the Faculty of Agriculture and Zootechnics, belonging to the Juárez University of the State of Durango, developed four representative production units (URP), located in the main producing units in the country. In this case, the Comarca Lagunera, in Coahuila and Durango, and three more located at the Mixteca region, in Puebla.

According to the statistics published by the Ministry of Agriculture, Stock Breeding, Fishing and Food (SAGARPA, 2011), in 2009 the goat population in Mexico amounted to 8 952 144 head of cattle, and grew 3% during the 2000-2009 period.

Under the semiarid conditions in northern Mexico, the goats fulfill their nutrition needs mainly by consuming the available vegetation; nevertheless, most of the year the forage won't contain the nutrients required to cover their needs (Mellado *et al.*, 1991; Azqueta, 2007; Baca, 2009), and only during summer will the animals obtain the nutrients necessary to fulfill or exceed their requirements (Ramírez *et al.*, 1996).

When their basic requirements are not fulfilled, they start using their body reserves, thus losing weight and body conditions (Birkelo and Phetteplace, 1991; Gómez- Pastén

y Phetteplace 1991; Gómez-Pastén *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2011), lo cual podría reflejarse en el rendimiento productivo y reproductivo. La restricción alimenticia en los mamíferos puede afectar las regiones del hipotálamo que regulan la liberación y producción de hormonas de la glándula pituitaria involucradas en los procesos reproductivos (Dunn y Moss, 2004). En los rumiantes domésticos, la restricción de energía en la dieta provoca retraso en la presentación de la pubertad, disturbios en la ciclicidad de las hembras sexualmente maduras, anestro posparto prolongado (Schillo, 2009) y, probablemente prolongación del anestro estacional en las especies con comportamiento reproductivo estacional (Andersen, 2005; Azqueta, 2007; Angel, 2009; Forcada *et al.*, 2012).

Pitroff (2004), consignó la importancia mundial de la producción de cabras con base en tres aspectos principales: a) el potencial que tienen las cabras como un animal de doble propósito para disminuir la pobreza en el medio rural; b) el crecimiento de las poblaciones minoritarias en varios países que tienen fuerte preferencia por la carne y leche de cabra; y c) la creciente importancia de los pequeños rumiantes, especialmente cabras, en el manejo de la vegetación de países desarrollados (BANAMEX, 2000; Birkelo *et al.*, 2004).

La producción de cabras en México se ha incrementado gradualmente, de manera que en la actualidad México ocupa el primer lugar en inventario de caprinos entre los países latinoamericanos (FAO, 2004) seguido de Brasil, que por varios años fue el líder en ese rubro. La cabra es un animal doméstico con amplia distribución geográfica y numerosas ventajas que la posicionan en el mercado nacional e internacional (Marín *et al.*, 2009; De Lucas y Arbiza, 2010). Dentro de los sistemas de producción en los que participa esta especie, los lácteos tienen gran importancia y además han aumentado su precio especialmente, los quesos (Schoenian, 2009).

Otras de las características productivas que posicionan esta especie en el mercado son la calidad de su carne, fibra, pieles y pelo, así como la capacidad de conversión de alimentos en leche y la rusticidad para soportar ambientes desfavorables. Su leche, en comparación con la del bovino, posee un contenido menor de lactosa y moléculas de grasa más digeribles, y una mayor cantidad de sólidos totales. Estas características permiten que la leche de cabra alcance un alto precio a nivel mundial y la hacen más competitiva en el sector productivo (Gittinger, 2004; Martínez *et al.*, 2006; Sangerman-Jarquín, 2009 y 2012).

et al., 2997; Ramírez *et al.*, 2011), which may reflect on their productive and reproductive performance. The food restriction suffered by the mammals may affect the hypothalamus regions which regulate the production and release of the pituitary gland hormones involved in the reproductive processes (Dunn and Moss, 2004). In domestic ruminants, the energy restrictions due to the diet causes a delay in the achievement of puberty, disorders in the cycles of sexually mature females, extended post-labor anestrus (Schillo, 2009), and probably, the extension of stationary anestrus in the species that show a stationary reproductive behavior (Andersen, 2005; Azqueta, 2007; Angel, 2009; Forcada *et al.*, 2012).

Pitroff (2004) recorded how important the goat production is to the world, based on three main aspects: a) the potential goats show as double purpose livestock that can reduce poverty in rural media; b) the growth of minority populations in many countries, which prefer goat milk and meat; and c) the growing importance of small ruminants, specially goats, for the management of vegetation in developed countries (BANAMEX, 2000; Birkelo *et al.*, 2004).

Goat production in Mexico has increased gradually, as a result Mexico today occupies the first place in caprine cattle inventory among Latin American countries (FAO, 2004), followed by Brazil, which was the leader on this title several years. Goats are domestic animals which cover an extensive geographic distribution and show various advantages which place them in national and international markets (Marín *et al.*, 2009; De Lucas and Arbiza, 2010). Within the production systems which involve this species, dairy products are extremely relevant, and their price, in particular the price of cheese, has increased (Schoenian, 2009).

Other productive characteristics which place this species in the market are the quality of its meat, fibers, leather and coat, as well as the ability to transform dairy products, and its resilience to unfavorable climates. Its milk, compared to bovine milk, contains less lactose and more digestible fat molecules, as well as a higher amount of total solids. These characteristics allow for goat milk to reach high prices in the world, and make it more competitive in the productive sector (Gittinger, 2004; Martínez *et al.*, 2006; Sangerman-Jarquín, 2009 and 2012).

Goat research, applied to the management of production systems, is the trigger for the increase in productivity for this activity, and according to these aspects we observe that, in

La investigación en cabras aplicada al manejo de sistemas de producción constituye un detonante para incrementar la productividad de ésta actividad y dentro de éstos aspectos se tiene que en sistemas de producción con razas lecheras, la curva de lactancia está caracterizada por una fase de ascenso y un periodo de producción máxima seguido por una fase de descenso continuo en la producción. Estas fases que determinan la forma de la curva están afectadas por factores genéticos y ambientales (Ochoa y Restrepo, 2006; Quintero, 2007).

El nivel nutricional que presenten las cabras, de acuerdo a Meza-Herrera *et al.* (2004) y a Scaramuzzi *et al.* (2010) afecta los procesos involucrados en el desarrollo folicular y tasa ovulatoria de los rumiantes, particularmente a través de cambios en peso vivo (PV) y condición corporal (CC) pudiendo deprimir la síntesis y secreción de gonadotropinas (FSH y LH) y afectar la eficiencia reproductiva.

El propósito principal de este trabajo fue presentar la proyección de la viabilidad económica y financiera de una URP productora de leche y cabrito bajo un sistema de producción semi estabulado para el periodo 2008-2018, en el municipio de Lerdo, Durango, ubicado en la región Comarca Lagunera, tomando como año base el comportamiento económico de las URP en 2008 (Sangerman-Jarquín, 2009 y 2009).

El estudio se justifica debido a que a casi medio milenio de años de la llegada de pequeños rumiantes a México, motivado por la conquista española, es innegable que no obstante su bajo número y aparente baja participación en el sector pecuario, el ganado caprino significa una enorme contribución para miles de productores de escasos recursos (Baca, 2009; De Lucas y Arviza, 2010; Albicette y Chiappé, 2012).

Metodología

Una Unidad Representativa de Producción (URP) es aquella que sin representar a un productor específico, tipifica virtualmente las actividades y decisiones de los productores participantes en un panel. A la vez, la URP representa una unidad de producción representativa de una escala y un sistema de producción particular de una región.

production systems for milk-producing races, the lactation curve is characterized by an ascending phase and a period of maximum production, followed by a continuous descent phase in production. These phases, which determine the shape of the curve, are affected by genetic and environmental factors (Ochoa and Restrepo, 2006; Quintero, 2007).

The nutritional level presented by goats, according to Meza-Herrera *et al.* (2004), and Scaramuzzi *et al.* (2010), affects the processes involved in follicular development, and the ovulatory rate of ruminants, particularly through changes in live weight (LW) and body condition (BC), having the possibility to suppress the synthesis and secretion of gonadotropins (FSH and LH), and affect reproductive efficiency.

The main objective of this study was presenting the economic and financial feasibility projection of a milk and kid producing URP, under a semi-free stall production system, for the 2008-2018 period, in the municipality of Lerdo, state of Durango, located in the Comarca Lagunera region, taking as baseline year the economic behavior shown by the URPs during 2008 (Sangerman-Jarquín, 2009 and 2009).

The study is justified considering today, almost half a millennium from the arrival of small ruminants to Mexico, brought at the time of the conquest by Spain, we can't deny that, although its small number and apparent low participation in the livestock market, caprine cattle represents an important contribution for thousands of low income producers (Baca, 2009; De Lucas and Arviza, 2010; Albicette and Chiappé, 2012).

Methodology

A Representative Production Unit (URP) is that in which, without representing a specific producer, the activities and decisions of the involved producers are virtually categorized in a panel. At the same time, the URP represents a representative production unit on a scale, and a production system for a specific region.

In order to establish the Representative Production Unit (URP) for milk and kid producing goats, under a semi-free stall system located in the Lagunera region, we use the panel technique. The panel that characterizes the URP was

Para construir la Unidad Representativa de Producción (URP) en cabras productoras de leche y cabrito bajo un sistema de producción semi estabulado en la Región Lagunera, se utilizó la técnica de paneles. El panel para caracterizar la URP señalada se conformó por 15 productores del municipio de Lerdo, Durango, con quienes en el mes de septiembre de 2009, se realizó la reunión de diagnóstico y en el mes de octubre la de validación. Los panelistas fueron convocados por líder de la asociación de caprinocultores de la Comarca Lagunera, quien fungió como facilitador experto en cabras. Las características de los panelistas fueron que estuviesen familiarizados con la actividad productiva; tuviesen características tecnológicas y de tamaño de hato similares. Se eligió una URP de 100 vientres porque es la más representativa de la zona de estudio.

Utilizando un proceso de construcción de consenso, en el panel se estableció un primer diálogo con los productores con el fin de recabar la información relacionada con ingresos y costos de producción en una hoja electrónica diseñada para dicho propósito, así como de parámetros técnicos y sistemas de comercialización para el año 2008, que sirvió como año base. De tal manera que la escala, sistema de producción, nivel tecnológico, precio de compra de los insumos y venta de los productos, para un año en particular (año base), fueron acordados en consenso por los panelistas para conformar una URP (Chung, 2004; Brooke *et al.*, 2005; Forcada, 2012).

Una vez capturada y procesada la información del año base, y con el fin de asegurar la validez y representatividad de los datos obtenidos, los resultados del año base fueron aprobados por los panelistas en una segunda reunión, donde se realizó un proceso similar al del consenso en los paneles, para lo cual se convocó de nuevo a los participantes del panel original. En esta etapa se comprobó que la información reflejara la situación técnica y económica de la URP en estudio para el año base. Del mismo modo, se verificó que los panelistas estuvieran de acuerdo en que el análisis prospectivo refleje adecuadamente sus expectativas sobre las tendencias del sector (Pope y Just, 2006; Muñante, 2007; Pindych y Rubinfield, 2007).

La siguiente etapa del proceso fue el análisis prospectivo y estocástico. Este tipo de análisis desarrolló proyecciones de las principales variables económicas a través de un horizonte de planeación (hasta por diez años), tales como los ingresos y costos del año base, expresados por los panelistas.

formed by 15 producers from the municipality of Lerdo, state of Durango, with whom a diagnostics meeting was held on September 2009, and the validation was obtained in October. The panel members where called by the leader of the caprine cattle producers association of the Comarca Lagunera, who acted as the goat expert facilitator. The panel members fulfilled the following characteristics: possession of knowledge related to the productive activity; similar technology and herd size characteristics. An URP with 100 breeding stock was chosen because it is most representative of the zone where the study took place.

Using a consensus building process, the panel first opened communications with the producers, seeking to gather all information related to the income and costs of production, using an electronic sheet designed to this end, as well as data regarding technical parameters and commercialization systems for 2008, which was the baseline year. All this, so that the scale, the production system, the technological level, the buying price for the supplies, and the selling prices for the products on a specific year (baseline year) were agreed upon in a consensus achieved by the panel members, in order to establish an URP (Chung, 2004; Brooke *et al.*, 2005; Forcada, 2012).

Once the information was recorded and processed for the baseline year, and to guarantee the validity and representation quality of the data obtained, the baseline year results were approved by the panel members during a second meeting, where a similar consensus process took place in the panels, for which the original panel members where called upon again. During this stage the information was proven to reflect the technical and economic state of the URP studied on the baseline year. Furthermore, the fact that the panel members agreed on the prospective analysis reflecting appropriately their expectations on the trends of the sector (Pope and Just, 2006; Muñante, 2007; Pindych and Rubinfield, 2007) was verified.

The next stage of the process was the prospective and stochastic analysis. This type of analysis developed projections regarding the main economic variables through a planning horizon (up to ten years), such as income and costs for the baseline year, expressed by the panel members.

For the results to simulate the risk faced by the different activities, the projections were made considering background prices and performance, observed by the producers in the country. In order to achieve even more representativeness, adjustments were made to gather the

Con el fin de que los resultados simularan el riesgo enfrentado por las diferentes actividades, las proyecciones se realizaron considerando los precios y rendimientos históricos observados por los productores a nivel nacional. Para obtener aún mayor representatividad, se realizaron ajustes que recogen el nivel local de precios para los diferentes insumos en cada región productiva incluida en el análisis. El análisis de las URP utilizó proyecciones macroeconómicas como precios, tasas de inflación y variables de política pública, provenientes del escenario base 2008-2019. Este modelo fue elaborado conjuntamente con la Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (Ramírez *et al.*, 2000; Sala-i-Martín *et al.*, 2009; SAGARPA, 2009).

La Dirección General de Estudios Agropecuarios y Pesqueros de la Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios de la (SAGARPA, 2011) a través del componente Desarrollo de Mercados y Planeación Prospectiva del Programa de Soporte, aportó los recursos necesarios para la realización de este estudio. Los recursos fueron administrados por la Universidad Autónoma Chapingo (UCH), en su calidad de agente técnico del proyecto “Análisis y prospectiva: una herramienta para la toma de decisiones de políticas públicas”.

El modelo MexSim, donde se capturaron las variables obtenidas a través de los paneles y permitió realizar proyecciones estocásticas de los principales indicadores a nivel de la URP fue desarrollado de manera conjunta con el Centro de Política Agroalimentaria (AFPC) de la Universidad de Texas A&M.

Para fortalecer su capacidad operativa, el MexSim requiere de bases económicas sólidas y confiables. En este sentido, de forma complementaria, para llevar a cabo los análisis prospectivos, el MexSim utilizó las proyecciones de precios a nivel sectorial del escenario base (EB). Éste es un modelo económico de equilibrio parcial que fue desarrollado por la Dirección General de Estudios Agropecuarios y Pesqueros de (SAGARPA, 2009), que genera las tendencias de las principales variables macroeconómicas que influyen en el sector agroalimentario.

Los resultados obtenidos ofrecen información sobre la viabilidad económica de las URP bajo las condiciones productivas, tecnológicas y económicas observadas al momento de realizar el panel. Los supuestos considerados en la simulación del comportamiento futuro de las URP fueron los siguientes:

local price level for the various supplies in each productive region included in the analysis. The analysis of URPs used macroeconomic projections such as prices, inflation rates, and public policy variables, resulting from the base scenario 2008-2019. The model was created together with the Subministry for the Promotion of Agro-businesses, belonging to the Ministry of Agriculture, Stockbreeding, Fishing and Food (Ramírez *et al.*, 2000; Sala-i-Martín *et al.*, 2009; SAGARPA, 2009).

The General Directorate of Agricultural and Fishing Studies of the Subministry for the Promotion of Agro-businesses, belonging to (SAGARPA, 2011), by means of the component Market Development and Prospective Planning of the Support Program, provided the necessary resources for this study. The resources were managed by the Chapingo Autonomous University (UCH, in Spanish), acting as technical agent for the project “Analysis and prospect: a tool for public policy decision-making”.

The MexSim model where the variables obtained through the panels were recorded, and which allowed for the stochastic projections of the main indicators at the URP level, was developed together with the Agricultural and Food Policy Center (AFPC) of the University of Texas A&M.

In order to strengthen its operations capacity, MexSim requires solid and reliable econometric basis. Furthermore, as a complement, in order to realize the prospective analysis, MexSim used price projections on a sector level from the baseline scenario (BS). This is a partial balance econometric model, developed by the General Directorate of Agricultural and Fishing Studies belonging to (SAGARPA, 2009), which generates trends for the main macroeconomic variables which affect the agro-alimentary sector.

The results obtained offer information regarding the economic feasibility of URPs under the productive, technologic and economic conditions observed when the panel took place. The following are the estimates considered in the simulation of future behavior for the URPs:

- The capacity and activity of the URP (head of cattle, hectares, etc.) remain constant during the planning horizon.
- The technological level remains constant.
- For the estimation of family life expenses, three managerial level URPs are established: survival, commercial and corporate.

- La capacidad y la actividad de la URP (cabezas, hectáreas, etc.) se mantiene constante a lo largo del horizonte de planeación.
- El nivel tecnológico se mantiene constante.
- Para efecto de estimación de los gastos de vida familiar se establecen tres niveles gerenciales de URP: subsistencia, comercial y corporativa.
- El panel determina los gastos de vida familiar en base a patrones históricos. Se establece un nivel de consumo para las URP de subsistencia y comerciales, así como un nivel de distribución de dividendos para las URP corporativas.
- Para efectos del análisis de rentabilidad de la explotación, se omitió cualquier ingreso externo a la actividad misma.
- En todos los casos las proyecciones macroeconómicas empleadas fueron las obtenidas a través del escenario base.
- La tasa de descuento empleada en algunos de los indicadores económicos se estableció 10%.

Resultados

Caracterización unidades representativas de producción (URP) de leche y cabrito bajo sistema de producción semi estabulado

Estas URP cuentan con 100 vientres y tres sementales manejados por ejidatarios o hijos de éstos. Para desarrollar su actividad disponen de tres corrales construidos con materiales rústicos existentes en la región (tarimas de madera, ramas de mezquite, malla ciclónica, postes de madera) equipados con sombras y bebederos; en uno de los corrales resguardan crías recién paridas; en otro, animales débiles y enfermos y en otro, al resto del ganado incluido el semental. Se estimó una disponibilidad de superficie por vientre de 3 m² en el corral y de un metro cuadrado para cada cabrito. Las razas que más se utilizan en esta región y bajo este sistema productivo son: Nubia, Saanen, Toggenburg y Alpina, porque presentan características adecuadas al medio en que son pastoreadas y además ser productoras de leche.

Para alimentar este ganado el productor lo saca a pastorear diariamente aproximadamente 6 h al día en las tierras comunales del ejido y a las áreas agrícolas que han sido previamente cosechadas, aprovechando los restos de forraje de cultivos como maíz, sorgo y frijol, principalmente. El resto del día lo encierra en corrales para resguardarlas del

- The panel determines family life expenses based on historic patterns. A level of consumption is established for survival and commercial URPs, as well as a dividend distribution level for corporate URPs.
- For the profitability analysis of the exploitation, any income from a different activity was ignored.
- In all cases, the macroeconomic projections used were those obtained using the baseline scenario.
- The discount rate used in some economic indicators was established as 10%.

Results

Characterization of milk and kid producing representative production units (URPs), under a semi-free stall production system

The URPs own 100 breeding stock and three studs handled by land owners or their sons. In order to develop their activity they have three pens built with raw materials from the region (wood planks, mesquite branches, fence, wooden posts), equipped with shades and drinking troughs; one of the pens is destined to hold the offspring; another is used for weak and sick animals, and a third one for the rest of the animals, including the stud. A surface availability was estimated in 3 m² per breeding animal in the pen, as well as one square meter for each kid. The most used races in the region, under this productive system, are: Nubia, Saanen, Toggenburg and Alpine, because they have the appropriate characteristics for the environment in which they're herded, and for being milk producers.

In order to feed the cattle, the producer herds it every day, for around 6 hours, on the commons grounds of the zone, and to the agricultural zones previously harvested, taking advantage of the remains of the forage from crops like corn, sorghum, and beans. The rest of the day the cattle is put inside the pens to keep them safe from the weather and supplement its diet with alfalfa forage, forage corn, wheat and forage sorghum; also to provide 0.5 kg of concentrate (14% PC) per animal, as well as 0.3 kg of forage corn per day.

The management of cattle consists in applying vaccines to prevent diseases, using external antiparasitics (tick), and a first aid kit to tend to the cattle, as well as the health of pregnant and newborn goats.

medio y complementarla la alimentación del ganado con forraje de alfalfa, maíz forrajero, avena y sorgo forrajero; además de proporcionar 0.5 kg de concentrado (14% PC) por cabeza y 0.3 kg de maíz rolado al día.

El manejo del ganado consiste en aplicar vacunas para prevención de enfermedades; uso de desparasitantes externos (garrapata) y un botiquín de primeros auxilios para atender al ganado y la salud de cabras en preñez y recién paridas.

El equipo que tienen para operar su hato está compuesto por tres comederos, tres bebederos, una carretilla, una báscula, un remolque, una bomba de agua, tres tinas de ordeña con capacidad de 12 L cada una, seis jarras de 40 L cada una, y herramientas de trabajo (pala, azadón, machete); una aspersora para bañar y desparasitar el ganado. Cuentan también con una bicicleta y una camioneta para acarrear forraje.

El costo de adquisición de una cabra para apareamiento es de 900 pesos y el de un macho de 2 000 pesos; sin embargo, sólo compran el macho, pues las cabras son producidas por ellos, eligiendo las hembras con mejores características para la producción de leche y cabrito.

El inventario de ganado promedio anual es de cien cabras adultas; 20 cabras en desarrollo; tres sementales y alrededor de 180 cabritos al año (de entre un mes y mes y medio de edad). La venta de cabritos se hace a compradores provenientes de la ciudad Monterrey a un precio promedio para el año 2008 de 41 pesos el kilogramo para el cabrito de primera (peso de 11 kg) y de 33.30 pesos para el cabrito de segunda (peso de 9 kg). La venta de leche ocurre también a nivel local a compañías locales como Coronado; quien la transforma en dulces y cajetas.

De acuerdo al panel realizado, una cabra produce dos litros de leche al día y considerando que son 60 las que se mantienen activamente productivas por un período de ocho meses y medio se logra al año un volumen de 38 760, que vendidos a 4 pesos por litros, arroja un ingreso total de 155 040 pesos. Al año también venden 10 cabras de desecho a razón de 500 pesos por cabra, lo que arroja un ingreso de 5 700 pesos.

El costo calculado anual derivado de inversión en vientes y sementales es de 18 800 pesos considerando una vida productiva de cinco años. Los costos de mantenimiento

The equipment they have to handle their herd consists in three feeding troughs, three drinking troughs, one cart, one scale, one trailer, one water pump, three 12 L milking tanks, six 40 L jars, and working tools (shovel, mattock, machete); one water sprayer to bathe and remove parasites off of the animals. They also have a bicycle and a truck to carry forage.

The acquisition cost of one goat for breeding is 900 pesos, and a male costs 2 000 pesos; nevertheless, they only buy the male goat, since they produce the goats, and choose the best suited females for the production of milk and kid.

The average yearly cattle inventory is 100 adult goats; 20 developing goats; three studs, and around 180 kids per year (age ranging from 1 month to 1 and a half months). The kids are sold to buyers from Monterrey city, at an average price in 2008, of 41 pesos per kilogram for first class kid (weighing 11 kg), and 33.30 pesos for second class kid (weighing 9 kg). Milk sales also happen on a local level, to local companies like Coronado, who then transforms the product into milk candy.

According to the panel that took place, one goat produces two liters of milk every day, and considering they have 60 goats actively producing during a period of eight and a half months, the yearly volume achieved is 38 760 L, which sell at 4 pesos per liter, thus obtaining a total income of 155 040 pesos. Every year they also sell 10 scrap goat, at a rate of 500 pesos per goat, which yields an income of 5 700 pesos.

The yearly calculated cost derived from the investment in breeding stock and studs, amounts to 18 800 pesos, considering a productive life of five years. Maintenance costs for buildings (pens, shades and drinking troughs) equaled 2 400 pesos; maintenance of the equipment (truck, bicycle, cart and trailer) was estimated as 5 500 pesos, and other expenses like (electric power, fuel and association memberships), amounted to 10 800 pesos. The production costs for food supplements and forage, costs for herding in recently harvested terrains, and medicine and vaccines, equal 138 282.65 pesos. Yearly costs due to the devaluation of buildings and equipment, were 7 555 pesos, considering for their estimation different duration periods (Orona *et al.*, 2008).

The productive and reproductive parameters, which the panel members agreed upon to be included in MexSim to simulate the evolution of the URP are presented in Table 1.

a construcciones (corrales, sombras y bebederos) fueron de 2 400 pesos; el mantenimiento de equipo (camioneta, bicicleta, carretilla y remolque) se calculó en 5 500 pesos y otros gastos como (energía eléctrica y combustible, membresía a asociaciones) fue de 10 800 pesos. Los costos de producción en suplemento alimenticia y forrajes, costos de pastoreo en parcelas recién cosechadas y medicamentos y vacunas, ascendió a 138 282.65 pesos. Los costos anuales de depreciación de construcciones y equipo fueron de 7 555 pesos, considerándose para su estimación diferentes períodos de duración (Orona *et al.*, 2008).

Los parámetros productivos y reproductivos acordados por los panelistas para ser incluidos en el MexSim y de esta forma simular la evolución de la URP se presentan en el Cuadro 1.

Comportamiento futuro de algunos indicadores financieros de la URP productora de cabrito y leche bajo el sistema de producción extensivo.

Una vez capturada la información de la URP en el programa MexSim, y utilizando el comportamiento futuro de precios de insumos y productos, se obtuvo el análisis prospectivo de las URP productoras de leche y cabrito, considerando además el ingreso por cultivos agrícolas Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros económicos proyectados de URP productoras de cabrito en sistema semi estabulado (miles de pesos 2008).

Table 2. Economic parameters projected for the kid producing URPs, under a semi-free stall system (thousands of pesos, 2008).

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Ingreso por cultivos	126	132	140	144	147	154	165	174	168	172	181
Ingreso ganadero	210	216	219	225	226	232	237	245	253	264	273
Transferencias	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ingreso total	342	354	365	375	379	392	409	425	428	442	461
Ingreso neto	124	128	151	154	152	160	169	179	176	184	198
RSA (%) ¹	37	36	41	41	38	39	38	38	36	36	37
P(DFE) (%) ²		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P(Desc.) (%) ³		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

¹RSA: retorno sobre activos; ²DFE: déficit de flujo de efectivo; ³Desc: descapitalización; ⁴RSA<0: retorno sobre activos sea menor que 0.

Integrantes del panel: Martín Cestillo Buendía, Luciano Vázquez, Juan Rojas Hernández, José Chávez Segovia, Luis armando Alvarado S., Maximo Salas, Valentín Viésca Ruíz, Guillermo Galván Morales, Rafael Zúñiga Tarango, Porfirio Barrientos Días, Eusebio Barrientos Días, Luis Rodelo Días, Juan Rodríguez Cigarroa, Roberto Terrazas Cortes,

Cuadro 1. Parámetros productivos y reproductivos considerados en por el modelo MEXSIM.

Table 1. Productive and reproductive parameters considered by MEXSIM.

Modelo MEXSIM	(%)
Relación hembras/macho	33.3
Producción de leche por cabra al día (lts)	2
(%) de grasa en leche de cabra	3.5
Duración de la lactancia (meses)	8.5
(%) de fertilidad	80
(%) de abortos	5
(%) de pariciones	95
Núm. de crías por parto	2
Peso de las crías al parto (kg)	3
(%) de destete	95
(%) de desecho anual de cabras en producción	10
Núm. de años de vida activa de sementales	5
Núm. de años de vida productiva de cabras	5
Ganancia de peso al día en cabritos (kg)	0.285
Núm. de partos al año por vientre activo	1
(%) de mortalidad de cabras en producción	2
(%) de mortalidad de cabras gestantes	0
(%) de mortalidad de cabras secas	0
(%) de mortalidad de cabras en desarrollo	2
(%) de mortalidad en sementales	0
(%) de mortalidad de cabritos (30-45 días)	4

Fuente: información generada a partir de los paneles realizados con productores de cabras.

Future behavoir of some financial indicators for the milk and kid producing URP, under an extensive production system.

Once the data regarding the URP was recorded in MexSim, and using the future behavior of the prices for supplies and products, the prospective analysis

Tomás Míreles, Delfino Camacho Muñoz, Héctor Manuel Sánchez Uranga e Isaías Castro Hurtado, y el facilitador: Jesús Antúnez.

Bajo los supuestos asumidos al momento de correr el MexSim, los productores destinan de la actividad ganadera 70% al gasto familiar, se advierte que el sistema caprino extensivo del productor de leche y cabrito de un tamaño de 100 vientres presenta una situación económica favorable dentro de los próximos diez años, pues los ingresos netos tienden a incrementarse año con año.

Situación económica de la URP para el periodo 2009-2018

El comportamiento futuro arrojado por MexSim de la URP bajo estudio se muestra en la Figura 1.

La situación general es considerada como favorable (verde), moderada (amarillo) y desfavorable (rojo) con base en las probabilidades: menor igual a 25%; mayor a 25% y menor o igual a 50%, y mayor al 50%.

La probabilidad de obtener reservas finales de efectivo negativas y la probabilidad de descapitalización son consideradas: baja (verde), media (amarillo) y alta (rojo).

P(reservas finales de efectivo negativas) es la probabilidad de que la URP presente flujos de efectivo negativos. Los valores reportados corresponden a la probabilidad para 2009 y 2018, respectivamente.

P (descapitalización) es la probabilidad de que la URP presente pérdidas en el capital neto inicial. Los valores reportados corresponden a la probabilidad para 2009 y 2018, respectivamente.

Conclusiones

Las unidades representativas de producción dedicadas a la producción de leche y cabrito con un tamaño de hato de 100 vientres bajo un sistema de producción extensivo, ubicadas en condiciones climáticas de la región lagunera, presentan viabilidad económica positiva en el periodo 2008-2018.

of the milk and kid producing URPs was obtained, also considering the income by agricultural crops Table 2.

Panel members: Martín Cestillo Buendía, Luciano Vázquez, Juan Rojas Hernández, José Chávez Segovia, Luis armando Alvarado S., Maximo Salas, Valentín Viésca Ruiz, Guillermo Galván Morales, Rafael Zúñiga Tarango, Porfirio Barrientos Días, Eusebio Barrientos Días, Luis Rodelo Días, Juan Rodríguez Cigarroa, Roberto Terrazas Cortes, Tomás Míreles, Delfino Camacho Muñoz, Héctor Manuel Sánchez Uranga e Isaías Castro Hurtado, and the Facilitator: Jesús Antúnez.

Under the assumptions made when MexSim was run, the producers use 70% of the livestock activities for family expenses; it is evident that the extensive caprine system of the milk and kid producer, with a herd of 100 breeding stock, represents a favorable economic situation for the next ten years, considering the net income tends to increase each year.

Economic situation of the URP for the period 2009-2018

The future behavior obtained from MexSim for the URP studied is shown in Figure 1.

Situación general	Situación general	P(efectivo final) Neg)	P (descapitalización)
2009	2018	2009-2018	2009-2018
4-0	0-0		

Figura 1. Situación económica de la URP periodo 2009-2018.
Figure 1. Economic situation of the URP for the period 2009-2018.

The overall situation is considered favorable (green), moderate (yellow), and unfavorable (red), based on the probabilities: less than or equal to 25%; more than 25%, and less than or equal to 50%, and over 50%.

The probability of obtaining final cash reserves are negative, and the probability of losing capital are considered: low (green), moderate (yellow), and high (red).

P (negative final cash reserve) is the probability that the URP will suffer from negative cash flow. The reported values are consistent with the probabilities for 2009 and 2018, respectively.

Literatura citada

- Albicette-Batreri, M. M. y Chiappé-Hernández, M. 2012. Una experiencia de investigación participativa en Uruguay. Rev. Agric. Soc. Des. 9(1):29-54.
- Andersen, R. 2005. La agricultura en los centros de investigación: realización y potencialidad. Part. I y II. CGIAR, Washington, D. C. 115 pp.
- Ángel, M.; Paula, A.; Agudelo, D. A.; Restrepo, G. F. L.; Cañas, A. J. J. y Cerón, M. F. 2009. Curvas de lactancia de cabras mestizas utilizando modelos matemáticos no lineales. Rev. Lasallista Investigación. 6(1):43-49.
- Azqueta, O. D. 2007. Valoración económica en empresas pecuarias. Mc Graw Hill, España. 299 p.
- Babier, E. B. 2002 Economic for wilds: wildlife diversity, and development. Islandpress, Washington, D.C. 226 p.
- Baca, U. G. 2007. Evaluación de proyectos. Mc Graw Hill. México, D. F. 339 p.
- Banco Nacional de México (BANAMEX). 2000. Examen de la situación económica de México. Ed. Banco de México. México, D. F. 25 p.
- Birkelo, C.; Johnson, D. and Phetteplace, H. 1991. Maintenance requirements of beef cattle as affected by season on different planes of nutrition. J. Anim Sci. 69:1214-1222.
- Brigham, E. F. 2008. Financial management: theory and practice. The Drypress, New York. 1127 p.
- Brooke, A.; Kendrick, D.; Meeraus, A. and Raman, R. 2005. GAMS. General algebraic modeling systems. A User's Guide. Washington. D.C: GAMS Development Corporation. 262 p.
- Chung, J. W. 2004. Utility and production functions, theory and applications. Backwell Publisher. Oxford and U.K. Cambridge USA. 25-38 pp.
- De Lucas, T. J. y Arbiza, A. S. 2010. Contribución de los ovinos y los caprinos a la ganadería mexicana y sus perspectivas. In: Simposio. La contribución de los ovinos y caprinos en la producción de los alimentos. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. XXXI Aniversario Ganadería. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 43 p.
- Dunn, T. G. and Moss, G. E. 1992. Effects of nutrient deficiencies and excess on reproductive efficiency of livestock. J. Anim Sci. 70:1580- 1593.
- Forcada, F.; Abecia, J. A. and Sierra, I. 1992. Seasonal changes in oestrus activity and ovulation rate in Rasa Aragonesa ewes maintained at two different body condition levels. Small Rum Res. 8:313-32.
- Gittinger, J. P. 2004 Análisis económico de proyectos agrícolas. Tecnos. España. 532 p.
- Gómez-Pastén, M.; Mora-Izaguirre, O.; Vera-Ávila, H.; Meléndez-Soto, R. M. and Shimada, A. 2000. Fatty acid profiles in the adipose tissue of underfed goats. Proc West Sec Am. Soc. Anim Sci. 51:552-555.
- Maddala, G. S. and Miller, E. 2009. Microeconomía. 3^a Edición en Español. Mc Graw Hill. 328 p.
- Martínez, C.; Héctor; J. E.; Amezquita, V. y Espinal, C. F. 2006. La cadena ovinos y caprinos en Colombia. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio agrocadenas. Documento de trabajo Núm. 125. 122 p.

P (loss of capital) is the probability that the URP will suffer losses of initial net capital. The reported values are consistent with the probabilities for 2009 and 2018, respectively.

Conclusions

The representative production units that produce milk and kid, and own a herd of 100 breeding stock, under an extensive production system, located in the weather conditions of the Lagunera region, show a positive economic feasibility for the period that goes from 2008 to 2018.

End of the English version



- Mellado, M.; Foote, R. H.; Rodríguez, A. and Zárate, P. 1991. Botanical composition and nutrient content of diets selected by goats grazing on desert grassland in northern Mexico. Small Rumin Res. 6:141-150.
- Meza-Herrera, C. A.; Sánchez, J. M.; Chávez-Perches, J. C.; Salinas, H. and Mellado, M. 2004. Protein supplementation, body condition and ovarian activity in goats. Preovulatory serum profile of insulin. South African J. Anim. Sci. 34(1):223-226.
- Muñante, P. D. 2007. Apuntes de formulación y evaluación de proyectos de inversión agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 163 p.
- Ochoa, G. J. y Restrepo, E. F. 1986. Caracterización de lactancias mediante un modelo matemático en hato Paysandú. Medellín. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Producción Animal. 120 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2004. Statistical Databases. FAOSTAT. <http://apps.fao.org/>.
- Orona, C. I.; Espinoza, A. J. J.; González, C. G.; Murillo, A. B.; García, H. J. y Santamaría, C. J. 2008. Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Carya illinoensis* Koch.) en la Comarca Lagunera, México. Agric. Tec. Méx. 33(3):111- 223.
- Pindyck, R. and Rubinfeld, D. 2007. Econometric model and economic forecasts. 2^a Ed. Mc Graw Hill, USA. 38-43 pp.
- Pittroff, W. 2004. Perspectives for goat production. In: Memorias de la XIX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. Acapulco, Guerrero. México. México, D. F. 28-43 pp.
- Pope, R. D. and Just, R. E. 2006. Cost function estimation under risk aversion. Am. J. Agric. Econ. 80: 288-295.
- Quintero, J. C. 2007. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero In: Rev. Colombiana de Cienc. Pec. 20(2):149-156.
- Ramírez, R. G.; Alonso, D. S.; Hernández, G. and Ramírez, B. 1996. Nutrient intake of range sheep on a buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) pasture. Appl. Anim. Behav Sci. 48:215-224.
- Ramírez-Pérez, A. H.; Buntinx, S. E.; Tapia-Rodríguez, C. and Rosiles, R. 2000. Effect of breed and age on the voluntary intake and the micromineral status of non-pregnant sheep. 1. Estimation of voluntary intake. Small Rumin. Res. 36:49-55.

- Red Mexicana de Investigación en Política Agroalimentaria (AGROPROSPECTA). 2009. Resumen ejecutivo de unidades representativas de producción panorama económico 2007-2017. Febrero de 2009. www.agroprospecta.org.
- Red Mexicana de Investigación en Política Agroalimentaria (AGROPROSPECTA). 2010. Resumen ejecutivo de Unidades Representativas de Producción PECUARIA. Panorama económico 2008-2018. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 56 pp.
- Sala-i-Martin, X.; Blanke, J.; Drzenie, H.; Geiger, M.; Thierry, M. I. 2009. The global competitiveness index 2009-2010. Contributing to long-term prosperity amid the global economic crisis. In: the global competitiveness report 2009-2010. World Economic Forum. Geneva, Switzerland. 56(7): 345-332.
- Sangerman-Jarquín, D. M.; Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H. E.; Ramírez, V. B. y Alberti, M. P. 2009. Estudio de caso del impacto de tecnología en trigo del INIFAP. Agric. Téc. Méx. 1(35):25-37.
- Sangerman-Jarquín, D. M.; Larqué, S. B. S.; Ramírez, V. B.; Navarro-Bravo, A. y Serrano, F. M. E. 2009. Aspectos técnicos y caracterización del productor de durazno en el Estado de México, México. Agric. Téc. Méx. 35(3)305-313.
- Sangerman-Jarquín, D. M.; Espitia- Rangel, E.; Villaseñor- Mir, H. E.; Navarro- Bravo, A.; Larqué Saavedra, B. S.; de la O Olán, M. y Torres- García, R. 2012. Transferencia de tecnología a los productores trigueros en Nanacamilpa, Tlaxcala. Mex. Cienc. Agric. 3(8):1591-1604.
- Scaramuzzi, R. J.; K. Campbell, B. A.; Downing, J. R.; Kendall, N. M.; Khalid, M.; Muñoz- Gutiérrez, L. and Somchit, A. 2006. A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. Reprod. Nutri. Dev. 6:339-354.
- Schillo, K. K. 1992. Effect of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. J. Anim Sci. 70:1271-1283.
- Schoenian, S. 2000. Meat goat production. Estados Unidos: extension agent, agriculture and natural resources. University of Maryland Cooperative Extension. The Pennsylvania State University. 431 pp.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011 http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=330. (consultado abril, 2011).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=330. (consultado abril, 2009).
- Terrell, D. 2008. Incorporating monotonicity and concavity conditions in flexible functional forms. J. App. Econ. 2:179-194.

Competencia entre aislamientos de *Septoria tritici* Rog. Ex. Desm., en trigos harineros (*Triticum aestivum* L.)*

Competition between isolates of *Septoria tritici* Rog. Ex. Desm. in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)

Santos Gerardo Leyva Mir^{1§}, Emma Zavaleta Mejía², Lucy Gilchrists Saavedra³, Mireille Khairallah³ y Luis Antonio Mariscal Amaro⁴

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. C. P. 56230, Estado de México. Tel. 9521500. Ext. 6179. ²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, C. P. 56230. Montecillo, Estado de México. ³Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Carretera México-Veracruz, km 45. El Batán, 56130, Texcoco, Estado de México. ⁴Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5. C. P. 38110. Tel (461)6115323. [§]Autor para correspondencia: lsantos@correo.chapingo.mx.

Resumen

Para la obtención de genotipos de trigo resistentes a *Septoria tritici* se hacen inoculaciones con diferentes aislamientos; sin embargo, existe evidencia de competencia entre estos que sobrevalua la respuesta de resistencia de los genotipos. Para comprobar esto, el objetivo de este estudio fue probar tres genotipos de trigo con diferente nivel de resistencia a éste hongo inoculado con aislamiento, P8, P9 y B1, individuales y en mezclas. El experimento se estableció en 2006 bajo un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones. Se recolectaron picnidios de la hoja bandera y de la hoja inferior para identificar, mediante RFLP's, los aislamientos que se establecieron y prevalecieron en los diferentes genotipos. Cuando P8, P9 y B1 se inocularon individualmente se recuperó al aislamiento original; cuando se inocularon mezclados no se reaisló P9, evidenciando la competencia entre aislamientos y la baja agresividad de P9. B1 tuvo la frecuencia de recuperación más alta. Con B1 y P8 se reaislaron variantes genéticas cuya presencia fue influenciada por el genotipo de trigo y los aislamientos con que se mezclaron. Debido a que la competencia puede reducir la agresividad y la patogenicidad de los aislamientos inoculados en mezcla, la mejor estrategia en los programas de mejoramiento de trigo para seleccionar resistencia, es la inoculación individual de aislamientos.

Abstract

Inoculations with different isolates are done to obtain wheat genotypes resistant to *Septoria tritici*; however, there is evidence of competition between the isolates that overestimates the resistance response of the genotypes. To check this, the aim of this study was to test three wheat genotypes with different levels of resistance to this fungus, which was inoculated with isolates P8, P9 and B1, individually and in mixtures. The experiment was established in 2006 under a split plot design with three replicates. Pycnidia were collected from the flag leaf and the lower leaf to identify, using RFLPs, the isolates that established and prevailed in the different genotypes. When P8, P9 and B1 were inoculated individually, the original isolate was recovered; when they were inoculated in mixture, P9 was not re-isolated, which evidenced the competition between the isolates and the low aggressiveness of P9. B1 had the highest recovery rate. With B1 and P8, genetic variants were reisolated whose presence was influenced by the wheat genotype and the isolates with which they were mixed. Because competition can reduce the aggressiveness and pathogenicity of the isolates inoculated in mixture, the best strategy in wheat breeding programs to select resistance is to inoculate the isolates individually.

* Recibido: julio de 2012

Aceptado: marzo de 2013

Palabras claves: agresividad, competencia, picnidios, variantes genéticas.

El tizón del trigo causado por *S. tritici* afecta la producción de este cereal en zonas lluviosas y frías, atacando genotipos enanos y de alto rendimiento. Los factores determinantes del hongo para la penetración y colonización del hospedante son alta humedad relativa y temperaturas de 15-22 °C (Chungu *et al.*, 2001). Los programas de mejoramiento genético de trigo para obtener resistencia a *S. tritici* inoculan con una mezcla de aislamientos del hongo para ampliar la representación de su variación patogénica y la respuesta de los cultivares de trigo; sin embargo, mediante RFLP's, McDonald *et al.* (1995), Linde *et al.* (2002) y Cohen *et al.* (2000) encontraron variación genética del hongo; mientras que otros investigadores han encontrado evidencia de interacciones y competencia entre aislamientos del hongo y genotipos de trigo (Kema *et al.*, 1996; Cárdenas *et al.*, 2003; Leyva *et al.*, 2008b; Simón *et al.*, 2012). Por otro lado, investigadores(as) (Zelikovitch y Eyal, 1991; Zelikovitch *et al.*, 1992; Gilchrist y Velázquez, 1994; Cárdenas *et al.*, 2003) reportaron que en *S. tritici* la inoculación con mezclas de aislamientos reduce significativamente la producción de picnidios en comparación con inoculaciones individuales. Zelikovitch y Eyal (1991) observaron que *S. tritici* produce metil-3-indolcarboxilato, un inhibidor de la formación de picnidios e involucrado en la regulación de los síntomas del hospedante. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue observar la competencia entre aislamientos de *S. tritici* en tres genotipos de trigo y caracterizar los diferentes aislamientos del hongo mediante RFLP's.

Aislamientos del patógeno. Se usaron tres aislamientos de *S. tritici* con diferente virulencia y origen: P8 el más virulento y P9 menos virulento, de Pátzcuaro, Mich.; y B1, de virulencia similar a P8, de Atizapán, México (Leyva *et al.*, 2008a).

Hospedero. Los genotipos de trigo TRAP#1/BOW y SUZ6//ALONDRA/PAVON resistentes a *S. tritici*, y el susceptible KAUZ (Gilchrist y Velázquez, 1994) fueron sembrados en el ciclo primavera-verano 2006 en CIMMYT, Toluca, México. El diseño experimental fue de parcelas divididas con tres repeticiones, la parcela grande fueron los siete tratamientos, P8, P9, B1, P8×P9, P8×B1, P9×B1 y P9×P8×B1; y las parcelas pequeñas los tres genotipos de trigo. La parcela experimental fueron tres

Key words: aggressiveness, competition, genetic variants, pycnidia

Wheat blight caused by *S. tritici* affects the production of wheat in rainy and cold regions, attacking dwarf and high yielding genotypes. The factors that determine the penetration and colonization of the host by the fungus are high relative humidity and temperatures of 15-22 °C (Chungu *et al.*, 2001). Wheat breeding programs trying to obtain resistance against *S. tritici* inoculate a mixture of isolates of the fungus to increase the representation of its pathogenic variation and the response of the wheat cultivars; however, using RFLPs, McDonald *et al.* (1995), Linde *et al.* (2002) and Cohen *et al.* (2000) found genetic variation in the fungus, while other researchers have found evidence of interactions and competition between fungal isolates and wheat genotypes (Kema *et al.*, 1996; Cárdenas *et al.*, 2003; Leyva *et al.*, 2008b; Simón *et al.*, 2012). Moreover, researchers (Zelikovitch and Eyal, 1991; Zelikovitch *et al.*, 1992; Gilchrist and Velázquez, 1994; Cárdenas *et al.*, 2003) reported that in *S. tritici* the inoculation with isolate mixtures significantly reduced the production of pycnidia compared to individual inoculations. Zelikovitch and Eyal (1991) found that *S. tritici* produces methyl-3-indolecarboxylate, an inhibitor of the formation of pycnidia involved in the regulation of host symptoms. Therefore, the aim of this study was to observe the competition between isolates of *S. tritici* in three wheat genotypes and to characterize the different isolates of the fungus by RFLPs.

Isolates of the pathogen. Three isolates of *S. tritici* with different virulence and origin were used: the most virulent was P8 and the less virulent P9, both from Patzcuaro, Michoacan; B1, of similar virulence to P8, was from Atizapán, Mexico (Leyva *et al.*, 2008a).

Host. Wheat genotypes TRAP#1/BOW and SUZ6//ALONDRA/PAVON, resistant to *S. tritici*, and the susceptible genotype KAUZ (Gilchrist and Velázquez, 1994) were planted in the spring-summer cycle of 2006 at CIMMYT, Toluca, Mexico. The experimental design was split plot with three replicates; the large plot had the seven treatments, P8, P9, B1, P8×P9, P8×B1, P9×B1 and P9×P8×B1, while the small plots had the three wheat genotypes. The experimental plot had three furrows of 0.80 × 3 m in length. The agronomic practices used were the same that are used in commercial plantings in the region.

surcos de 0.80×3 m de longitud. Las prácticas agronómicas fueron las que se realizan en siembras comerciales de la región.

Inoculación y reaislamiento del hongo. Se realizó con los siete tratamientos, mezclándose según Zelikovitch y Eyal (1991) una hora antes de realizar la inoculación para mantener viables los conidios, agregándoles Tween20® (0.5). Las plantas se inocularon en etapa de amacollamiento con una aspersora de ultra bajo volumen, con presencia de lluvia para asegurar 18 h de HR al 100%, la concentración fue de 1×10^6 esporas mL⁻¹. En cada repetición se marcaron al azar seis plantas de cada genotipo. Cuando los aislamientos inoculados se establecieron y el hongo avanzó en sentido vertical a partes superiores de la planta, en etapa de grano masoso se colectó la hoja bandera en el genotipo susceptible, y la hoja inferior a ésta en los genotipos resistentes, de las seis plantas marcadas. Las hojas se etiquetaron y conservaron a 5 °C.

Las hojas se desinfestaron por 15 s en etanol (70%) y 90 s en hipoclorito de sodio (0.5%), el tejido se mantuvo en cámara húmeda por 12 h a temperatura ambiente para inducir la formación de cirrus en cada pycnidio. Por medio de un conteo previo de la densidad de pycnidios × área foliar de la hoja bandera y hoja inferior, se determinó el tamaño de muestra, seleccionándose los pycnidios por medio de un muestreo aleatorio (Cochran, 1980). De cada tratamiento de aislamiento individual se tomaron dos pycnidios por hoja, en las mezclas de dos aislamientos cuatro pycnidios, y en la mezcla de los tres aislamientos ocho pycnidios. El cirrus de cada pycnidio se transfirió a una caja Petri con medio LMSA.

Multiplicación de aislamientos. Se caracterizaron 468 aislamientos a partir de los pycnidios individuales, 36 para cada tratamiento individual, 72 para cada tratamiento de P8×P9, P8×B1 y P9×B1, y 144 para P9×P8×B1; más los tres aislamientos originales. Para obtener 3 g de tejido fungoso se cultivaron los aislamientos en medio de cultivo líquido por 7 d en movimiento continuo a 150 rpm a temperatura ambiente. El hongo formó bolas de micelio y esporas, se extrajo el micelio por centrifugación a 1 900 g por 15 min, se congeló con nitrógeno líquido y se pulverizó en un mortero.

Extracción, cuantificación y digestión de DNA. Los tres procedimientos se hicieron de acuerdo al protocolo para especies vegetales de CIMMYT (CIMMYT, 2006). Para la digestión se utilizaron las endonucleasas: *Eco*RI, *Eco*RV, *Hind*III y *Bam*III.

Fungal inoculation and reisolation. This was performed with the seven treatments, mixing, according to Zelikovitch and Eyal (1991), one hour prior to inoculation in order to maintain the conidia viable, adding Tween20® (0.5). The plants were inoculated at the tillering stage with an ultra low volume sprayer in the presence of rain to ensure 18 h of HR at 100%; the concentration was of 1×10^6 spores mL⁻¹. Six plants of each genotype were marked randomly at each replicate. When the inoculated isolates were established and the fungus advanced vertically to the upper parts of the six marked plants in the dough grain stage (Tottman *et al.*, 1979), the flag leaf of the susceptible genotype was collected, as well as the leaf below the flag leaf in the resistant genotypes. The leaves were labeled and stored at 5 °C.

The leaves were disinfested for 15 s in ethanol (70%) and 90 s in sodium hypochlorite (0.5%); the tissue was kept in a moist chamber for 12 hours at room temperature to induce the formation of cirrus on each pycnidium. Sample size was determined through a previous count of the density of pycnidia × leaf area of the flag and lower leaves, selecting the pycnidia through random sampling (Cochran, 1980). Two pycnidia per leaf were taken from each individual isolate treatment in the mixtures of two isolates and four pycnidia, and in the mixture of the three isolates and eight pycnidia. The cirrus of each pycnidium was transferred to a Petri dish with LMSA medium.

Multiplication of isolates. 468 isolates were characterized from the individual pycnidia, 36 for each individual treatment, 72 for each treatment with P8×P9, P8×B1, and P9×B1, and 144 for P9×P8×B1, plus the three original isolates. To obtain 3 g of fungal tissue the isolates were grown in liquid culture medium for 7 d in continuous movement at 150 rpm and room temperature. The fungus formed mycelium and spore balls; the mycelium was extracted by centrifugation at 1 900 g for 15 min, frozen with liquid nitrogen and pulverized in a mortar.

Extraction, quantification and digestion of DNA. The three procedures were done according to the protocol for plant species of CIMMYT (CIMMYT, 2006). For digestion, we used the endonucleases: *Eco*RI, *Eco*RV, *Hind*III and *Bam*III.

Electrophoresis. The DNA fragments were separated by electrophoresis on 0.7% agarose gel (SeaKem agarose FMC Bio Productor) of 20 x 25 cm, using two combs and a buffer at 0.03 V/cm for 22 h. The gel was stained with ethidium bromide and visualized under UV light.

Electroforesis. Los fragmentos de DNA se separaron por electroforesis en gel de agarosa al 0.7 % (SeaKem agarose FMC Bio Productor), de 20 x 25 cm, utilizando dos peines y un amortiguador a 0.03 V/cm por 22 h. Se tiñó el gel con bromuro de etidio y se visualizó bajo luz UV.

Transferencia. Para este procedimiento se siguió el protocolo citado por CIMMYT, (2006). Se transfirió el DNA cortado a una membrana de nylon (MS Magnagraph Nylon Membrane), utilizando un amortiguador de transferencia por 20 h, según la técnica Southern. Después de las 20 h, la membrana se remojó en citrato sódico salino por 15 min, se secó por 10 min y luego se fijó el DNA en la membrana con luz UV (120 000 µjoules). Se puso la membrana a hornear a 95 °C 3 h, y se almacenó a 4 °C.

Sondas. Se utilizaron ocho clones de plásmidos de *Escherichia coli* con fragmentos al azar de DNA de diferente tamaño. Se utilizaron los clones que permitieron separar los aislamientos de *S. tritici*. El marcate de sondas se hizo con la técnica de nick translation (McDonald y Martínez, 1990) utilizando digoxigenina al 2.5%.

Hibridación y detección. Se realizó con la metodología de quimioluminiscencia citada por CIMMYT (2006). Las membranas se reusaron de tres a cuatro veces lavándolas para quitar todo vestigio de la sonda anteriormente hibridada utilizando SSC 0.1 X y SDS al 0.01% a 82 °C por 4 min.

Análisis de datos. Los datos de las bandas de los 468 aislamientos se observaron y compararon con los patrones de los aislamientos originales P9, P8 y B1. Se registró la presencia o ausencia de cada uno de los aislamientos y se contabilizaron las bandas de algunos reaislamientos provenientes de campo. Con la frecuencia de aislamientos de picnidios por hoja se hizo un análisis de varianza y prueba de Tukey (Martínez, 1988) incluyendo el porcentaje de recuperación de los aislamientos originales y sus variantes.

Las inoculaciones en trigo fueron inóculo primario de *S. tritici* que se presentó en hoja bandera en la variedad susceptible KAUZ, y en la hoja inferior en los genotipos resistentes. Las sondas PSTL192, PSTL70 y las enzimas *EcoRI* y *EcoRII* mostraron mayores polimorfismos, permitiendo diferenciar los tres aislamientos de *S. tritici*; se

Transfer. For this procedure, we followed the protocol cited by CIMMYT (2006). The cut DNA was transferred to a nylon membrane (MS Magnagraph Nylon Membrane), using a transfer buffer for 20 h, according to the Southern technique. After 20 h, the membrane was steeped in saline sodium citrate for 15 min and dried for 10 min; the DNA was then fixed to the membrane with UV light (120 000 µjoules). The membrane was baked at 95 °C for 3 h, and stored at 4 °C.

Probes. Eight clones of *Escherichia coli* plasmids with random DNA fragments of different size were used. The clones used were those that allowed to separate the isolates of *S. tritici*. The labeling of probes was done by the nick translation technique (McDonald and Martinez, 1990) using 2.5% digoxigenin.

Hybridization and detection. This was done with the chemiluminescence method cited by CIMMYT (2006). The membranes were reused three to four times, washing them to remove all traces of the previously hybridized probe using SSC 0.1 X and 0.01% SDS at 82 °C for 4 min.

Data analysis. The data from the bands of the 468 isolates were observed and compared with the patterns of the original isolates P9, P8 and B1. The presence or absence of each of the isolates was recorded and the bands of some field reisolates were counted. An analysis of variance and a Tukey test were performed with the frequency of pycnidia isolates per leaf (Martínez, 1988), including the percent recovery of the original isolates and their variants.

The inoculations in wheat were the primary inoculum of the *S. tritici* that presented in the flag leaf of the susceptible variety KAUZ, and in the lower leaf of the resistant genotypes. Probes PSTL192 and PSTL70, and enzymes *EcoRI* and *EcoRII* showed higher polymorphisms, which allowed to distinguish the three isolates of *S. tritici*; the combination of PSTL70 and *EcoRI* was used for identifying the fungus, coinciding with McDonald and Martinez (1990), for whom this combination allowed an adequate separation of isolates. Of the 468 isolates processed by RFLPs, the first ones corresponded to the original isolates P8, P9 and B1. The variants P8 and B1 were evidenced by changes in the DNA banding; this genetic variation among isolates of *S. tritici* has been attributed to the presence of the sexual stage of the fungus; however, this variation may result from the

usó la combinación PSTL 70 y *Eco*RI para la identificación del hongo, coincidiendo con McDonald y Martínez (1990), donde esta combinación permitió una adecuada separación de aislamientos. De los 468 aislamientos procesados por RFLP's, los primeros correspondieron a los aislamientos originales P8, P9 y B1. Las variantes de P8 y B1 se evidenciaron por cambios en el bandeadío en el DNA; esta variación genética entre aislamientos de *S. tritici* ha sido atribuida a la presencia de la fase sexual del hongo; sin embargo, esta variación puede resultar de parosexualidad entre núcleos del micelio (McDonald *et al.*, 1995); este fenómeno, en este estudio, pudo ser el responsable de la variación, ya que la fase sexual no se ha detectado en México.

La rápida variación en el genoma, como lo observado en este estudio se ha reportado también por Kabbage *et al.* (2008). Las tres variantes del aislamiento P8 fueron P8*1, P8*2, P8*3 y P8*1-2; de B1 fueron: B1*1, B1*2 y B1*3. En el Cuadro 1 se observa que los aislamientos inoculados de forma individual se recuperaron 100%. P9 se reparó 100% en dos genotipos, en KAUZ se recobró 91%. De las inoculaciones de P8×P9 el 88 y 100% de reaislamientos en los tres genotipos correspondió a P8 sin recuperar a P9. En P8×B1, P8 se aisló en 42 y 84%; B1 se aisló en 100, 58 y 16%, y varió dependiendo del genotipo de trigo. En P9×B1, 86 y 99% de reaislamientos correspondieron a B1 y al igual que en P8×P9 no se recuperó P9. La prevalencia de B1 y P8 en mezclas dependió de la combinación de los aislamientos y del genotipo. Con la mezcla de los tres aislamientos solamente se recuperaron B1 (48, 93 y 91%) y P8 (52, 7 y 9%) según el genotipo, sin recuperar a P9.

Lo anterior claramente evidencia la competencia entre aislamientos, sugiriendo que P9 fue menos agresivo. Asimismo, los resultados sugieren que P8 fue menos agresivo que B1, dado que la frecuencia de recuperación de B1 fue más alta (16 a 100%) que la de P8 (7 a 100%) cuando ambos aislamientos estuvieron en mezcla (Cuadro 1). La prevalencia de B1 indica que este aislamiento fue el más agresivo. La existencia de competencia entre aislamientos, cuando se realizan inoculaciones con mezclas, ha sido previamente señalada por otros investigadores (Zelikovitch y Eyal, 1991; Eyal, 1992; Gilchrist y Velázquez, 1994; Linde *et al.*, 2002).

parasexuality among nuclei in the mycelium (McDonald *et al.*, 1995); this phenomenon could have been responsible for the variation in this study, as the sexual stage has not been detected in Mexico.

The rapid variation of the genome, such as that observed in this study, has also been reported by Kabbage *et al.* (2008). The three variants of the P8 isolate were P8*1, P8*2, P8*3 and P8*1-2; of B1 they were: B1*1, B1*2 and B1*3. Table 1 shows that the individually inoculated isolates were 100% recovered. P9 was 100% recovered in two genotypes and 91% in KAUZ. Of the inoculations with P8×P9, 88 and 100% of the reisolates in the three genotypes corresponded to P8, while P9 was not recovered. In P8×B1, P8 was isolated in 42 and 84%; B1 was isolated in 100, 58 and 16%, and varied depending on the wheat genotype. In P9×B1, 86 and 99% of the reisolates corresponded to B1, and, the same as in P8×P9, P9 was not recovered. The prevalence of B1 and P8 in mixtures depended on the combination of the isolates and the genotype. With the mixture of the three isolates only B1 (48, 93 and 91%) and P8 (52, 7 and 9%) were recovered, according to the genotype, while P9 was not recovered.

This clearly demonstrates that there is competition between isolates, with the suggestion that P9 was less aggressive. Furthermore, the results suggest that P8 was less aggressive than B1, since the recovery rate of B1 was higher (16 to 100%) than that of P8 (7 to 100%) when both isolates were in mixture (Table 1). The prevalence of B1 indicates that this isolate was the most aggressive. The existence of competition between the isolates when inoculations with mixtures are performed has been previously reported by other researchers (Zelikovitch and Eyal, 1991; Eyal, 1992; Gilchrist and Velázquez 1994; Linde *et al.*, 2002).

The analysis of variance indicated interactions between isolates and genotypes (unpublished data). In all cases, except for the variants P8*1 and P8*1,2, the interaction isolate×genotype was significant. According to the analysis, the wheat genotypes significantly influenced the presence of isolates and variants P8, B1*1, B1*2, P8*2 and P8*3. When P8 and P9 were inoculated individually there was no variation in the recovered reisolates. With the individual inoculation of B1, 5 and 8% of the variants B1*1 and B1*2 were reisolated, respectively; the remaining 86% was of the original B1 isolate.

Cuadro 1. Frecuencia de aislamientos recuperados de hoja bandera y hoja inferior en tres genotipos de trigo inoculados con aislamientos individuales y en mezclas de *S. tritici*, en Atizapán, Toluca, México.**Table 1. Frequency of isolates recovered from flag leaves and lower leaves in three wheat genotypes inoculated with individual isolates and in mixtures of *S. tritici* in Atizapán, Toluca, Mexico.**

AI	Frecuencia de recuperación (%) de aislamientos en los genotipos inoculados								
	TRAP (R)			SUZ (R)			KAUZ (S)		
	P9	P8	B1	P9	P8	B1	P9	P8	B1
P9	100	0	0	100	0	0	91	9	0
P8	0	100	0	0	100	0	0	100	0
B1	0	0	90(10) [†]	0	0	100	0	0	75(25)
P8×P9	0	50(38)	12	0	87(13)	0	0	70(30)	0
P8×B1	0	0	83(17)	0	42	58	0	80(4)	16
P9×B1	0	15	85	0	14	86	0	1	99
P8×P9×B1	0	52	48	0	7	93	0	9	91

AI= aislamiento inoculado; [†]frecuencias en paréntesis corresponden a variantes detectadas. Cifras subrayadas corresponden a contaminaciones. TRAP=TRAP#1/BOW; SUZ=SUZ6//ALONDRA/PAVON; R= resistente; S= susceptible.

El análisis de varianza indicó interacciones entre aislamientos y genotipos (datos no publicados). En todos los casos, con excepción de las variantes P8*1 y P8*1,2, la interacción aislamiento×genotipo fue significativa. Según el análisis, los genotipos de trigo influyeron de manera significativa en la presencia de los aislamientos y las variantes P8, B1*1, B1*2, P8*2 y P8*3. Con P9 y P8 inoculados individualmente no se presentó ninguna variación en los reaislamientos recuperados. Con la inoculación individual de B1 se reaislaron las variantes, B1*1 en 5% y B1*2 en 8% y el resto, 86%, fue del aislamiento B1 original.

En la mezcla de P8×P9 la variante P8*1 se reaisló 15%, P8*2; 5% y P8*1, 2; 7%; el resto fue del P8 original. En P8×B1 se detectaron con baja frecuencia las variantes B1*1, 1%, B1*3, 4%, P8*1, 1%, y con frecuencia de 40 y 53% los aislamientos P8 y B1. En P9×B1 las variantes que se aislaron fueron P8*1, 1%, P8*3, 10%, y B1 y P8 con una frecuencia de 80 y 8%, no se detectaron variantes con la mezcla de los tres aislamientos. El genotipo de trigo influyó en la presencia de variantes del hongo, en SUZ6//ALONDRA/PAVON sólo se desarrollaron las variantes de P8, en KAUZ y TRAP#1/BOW se aislaron variantes de P8 y B1 (Cuadro 2). La frecuencia más alta de reaislamientos correspondió a B1 (48 a 56%) (Cuadro 2). En aislamientos × genotipo (Cuadro 2), el aislamiento B1 fue el más prevalente (48 a 56%) independientemente del genotipo inoculado; seguido de P8 (30 a 35%), en este caso, la máxima recuperación de P9 fue 8%.

La frecuencia de recuperación de variantes de B1 y P8 fue influenciada por la combinación de los aislamientos en la mezcla y por el genotipo de trigo (Cuadro 3). La agresividad

In the mixture of P8×P9, 15% of the variant P8*1 was reisolated; also 5% of P8*2, and 7% of P8*1, 2; the rest was the original P8. Variants B1*1, B1*3 and P8*1 were detected in P8×B1 in low frequencies, 1%, 4% and 1%, respectively; the isolates P8 and B1 were detected in frequencies of 40 and 53%, respectively. In P9×B1, the variants that were isolated were P8*1 (1%), P8*3 (10%), B1 (80%) and Q8 (8%); no variants were detected with the mixture of the three isolates. The wheat genotype influenced the presence of the fungus variants; in SUZ6//ALONDRA/PAVON only the P8 variants developed; in KAUZ and TRAP#1/BOW the variants of P8 and B1 were isolated (Table 2). The highest frequency of reisolation corresponded to B1 (48-56%) (Table 2). In isolates×genotype (Table 2), the isolate B1 was the most prevalent (48 to 56%) regardless of the genotype inoculated, followed by P8 (30 to 35%); in this case, the maximum recovery of P9 was 8%.

The rate of recovery of the variants B1 and P8 was influenced by the combination of the isolates in the mixture and by the wheat genotype (Table 3). The aggressiveness of the isolates depended on the genotype into which the mixture was inoculated; for example, the variant P8*1 was isolated with a high frequency (13 to 17%) in all three wheat genotypes when they were inoculated with P9×P8, but its frequency was low (4%) or null when inoculated with P8×B1.

It was evident that the prevalence of B1 and P8 was influenced by the wheat genotypes. McDonald and Martínez (1990) found high genetic variation among isolates of *S. tritici*, noting that this variability results in new isolates

de los aislamientos dependió del genotipo en el que se inoculó la mezcla, por ejemplo, la variante P8*1 fue aislada con una frecuencia alta (13 a 17%) en los tres genotipos de trigo cuando éstos fueron inoculados con P9×P8, pero su frecuencia fue baja (4%) o nula cuando se inoculó con P8×B1.

that are capable to overcome resistance in resistant varieties or to resist the effect of fungicides. However, it should be emphasized that the variations detected in the DNA of the reisolates of the fungus are not necessarily related to changes in virulence or aggressiveness.

Cuadro 2. Porcentaje de aislamientos recuperados en hoja bandera e inferior en tres genotipos de trigo inoculados con aislamientos individuales y en mezcla de *S. tritici*, en Atizapán, Toluca, México.

Table 2. Percentage of isolates recovered in the flag and lower leaves of three wheat genotypes inoculated with individual isolates and in mixture of *S. tritici* in Atizapán, Toluca, Mexico.

GEN	Porcentaje de recuperación de aislamientos originales y variantes									
	P9	P8	B1	B1*1	B1*2	B1*3	P8*1	P8*2	P8*1,2	P8*3
TRAP (R)	7.6 a	34.6 a	55.7 a	19.2 b	0 a	1.9 b	2.5 a	0 a	3.2 b	0 a
SUZ6 (R)	7.6 a	30.1 a	51.2 a	0 a	0 a	0 a	2.5 a	3.2 a	0 a	3.8 b
KAUZ (S)	7.6 a	33.9 a	48.0 a	0 a	1.9 a	0 a	3.2 a	3.2 a	1.9 b	0.6 a

GEN=genotipo; cifras con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente al 0.05% (Tukey); R=resistente; S=susceptible.

Cuadro 3. Porcentaje de variantes recuperadas en los tres genotipos de trigo inoculados con los aislamientos B1, P9×P8, P8×B1 y P9×P8×B1 de *S. tritici*, en Atizapán, Toluca, México.

Table 3. Percentage of variants recovered in the three wheat genotypes inoculated with isolates B1, P9×P8, P8×B1 and P9×P8×B1 of *S. tritici* in Atizapán, Toluca, Mexico.

GEN	Porcentaje de recuperación de variantes de aislamientos										
	B1		P9×P8				P8×B1			P9×P8×B1	
	B1*1	B1*2	P8*1	P8*2	P8*1,2	P8*8,3	B1*1	B1*3	P8*1	P8*1	P8*3
T (R)	17 a	0 b	17 a	0 a	21 b	0 a	4 b	13 b	0 a	0 a	0 a
S (R)	0 b	0 b	13 a	3 b	0 a	4 b	0 a	0 a	0 a	4 b	3 b
K (S)	0 b	3 a	17 a	3 b	13 a	1 a	0 a	0 a	4 b	0 a	4 b

GEN=genotipo; cifras con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente al 0.05% (TUKEY); cifras subrayadas fueron contaminantes; T=TRAP#1/BOW; S=SUZ6//ALONDRA/PAVON; K=KAUZ; R=resistente; S=susceptible.

Fue evidente que la prevalencia de B1 y P8 fue influenciada por los genotipos de trigo. McDonald y Martínez (1990) detectaron gran variación genética entre aislamientos de *S. tritici* señalando que esta variabilidad dar lugar a nuevos aislamientos capaces de sobreponer la resistencia en variedades resistentes ó capaces de resistir el efecto de los fungicidas. Sin embargo, debe hacerse hincapié en que las variaciones detectadas en el DNA de los reaislamientos del hongo no necesariamente están relacionadas con cambios en virulencia o agresividad.

Las variantes genéticas de los aislamientos originalmente inoculados solamente se detectaron en los dos aislamientos más agresivos, B1 y P8, y las variantes de P8 únicamente se presentaron en inoculaciones de mezclas de dos aislamientos. En contraste las variantes de B1 solamente se presentaron cuando se inoculó sólo o en combinación con P8. La variación genética observada en las cepas reaisladas fue

Genetic variants of the originally inoculated isolates were detected only in the two more aggressive isolates, B1 and P8, while the variants of P8 occurred only in inoculations with mixtures of two isolates. In contrast, B1 variants were present only when it was inoculated alone or in combination with P8. The genetic variation observed in reisolated strains was influenced by the wheat genotype and by the combination in inoculated mixtures. The genotype SUZ6//ALONDRA/PAVON, considered the more resistant, was the one that induced fewer variants.

Each host exerted a different degree of selection pressure depending on the isolate with which it interacted; likewise, the selection pressure exerted by the competition depended on the combination of isolates and the effect of the interaction host-isolate. The selection tests for wheat genotypes resistant to *S. tritici* with inoculations of mixtures of isolates of this fungus lead to the overestimation the resistance responses

influenciada por el genotipo de trigo y por la combinación en las mezclas inoculadas. El genotipo SUZ6//ALONDRA/PAVÓN considerado el más resistente fue el que menos variantes indujo.

Cada hospedante ejerció diferente grado de presión de selección dependiendo del aislamiento con el cual interaccionó; asimismo, la presión de selección ejercida por la competencia dependió de la combinación de aislamientos y del efecto de la interacción hospedante-aislamiento. Las pruebas de selección de genotipos de trigo resistentes a *S. tritici* con inoculaciones de mezclas de aislamientos de este hongo propician el riesgo de sobrevalorar las respuestas de resistencia, debido a que la competencia puede reducir la agresividad y la patogenicidad de los aislamientos inoculados en la mezcla. Por lo tanto, la mejor estrategia en los programas de mejoramiento de trigo es inocular individualmente los aislamientos seleccionados como altamente patogénicos en una fase avanzada de selección.

Literatura citada

- Cárdenas, S. E.; Gilchrist, S. L. I. y Leyva, M. S. G. 2003. Histopatología del tizón foliar inducido por *Septoria tritici* Roberge in Desmaz., en 13 líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.). Rev. Mex. Fitopatol. 21(2):137-142.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2006. Protocolos de laboratorio: Laboratorio de Genética Molecular Aplicada CIMMYT. Tercera edición. México, D.F. CIMMYT. 92 p.
- Chungu, C.; Gilbert, J. and Smith, T. F. 2001. *Septoria tritici* blotch development as affected by temperature, duration of leaf wetness, inoculum concentration, and host. 2001. Plant Dis. 85:430-435.
- Cochran, G. W. 1980. Técnicas de muestreo. Editorial Continental, México. 513 p.
- Cohen, P. S.; Zilberman, A.; Schuster, S.; Sharon, A. and Eyal, Z. 2000. Elucidation of *Septoria tritici* × wheat interactions using GUS-expressing isolates. Phytopathology 90:207-304.
- Eyal, Z. 1992. The response of field-inoculated wheat cultivars to mixtures of *Septoria tritici* isolates. Euphytica 61:25-35.
- Gilchrist, S. L. and Velázquez, C. 1994. Interaction of *Septoria tritici* isolate-wheat as adult plant under field condition. In: Arseniuk, E.; Goral, T. and Czembor, P. (Eds.). Proceedings of the 4th international workshop on: *Septoria* of cereals. Ihar Radzikow, Poland. 111-114 pp.
- Kabbage, M.; Leslie, F. J.; Zeller, A. K.; Hulbert, H. S. and Bockus, W. W. 2008. Genetic diversity of *Mycosphaerella graminicola*, the causal agent of *Septoria tritici* blotch, in Kansas winter wheat. J. Agric. Food Environ. Sci. 2(1):1-9.
- Kema, G. H. J.; Annone, G. J.; Sayoud, R.; Van Silfhout, C. H.; Van Ginkel, M. and de Bree, J. 1996. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem. I. Interactions between pathogen isolates and host cultivars. Phytopathology 86:200-212.
- Leyva, M. S. G.; Gilchrist, S. L.; Huerta, E. J. y Villaseñor, M. H. E. 2008a. Efecto de la interacción de aislamientos de *Septoria tritici* Rob. ex. Desm., inoculados en diferentes genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.), en el periodo de latencia. Rev. Mex. Fitopatol. 26(1):15-20.
- Leyva, M. S. G.; Gilchrist, S. L.; Zavaleta, M. E. y Khairallah, M. 2008b. Interacción de componentes de resistencia e inóculo en trigo (*Triticum aestivum* L.) con tizón foliar (*Septoria tritici* Rob. ex. Desm.). Agrociencia 42(3):313-325.
- Linde, C. C.; Zhan, J. and McDonald, B. A. 2002. Population structure of *Mycosphaerella graminicola*: form lesions to continents. Phytopathology 92:946-955.
- Martínez, G. A. 1988. Diseños experimentales. Editorial Trillas. México, D.F. 130 p.
- McDonald, B. A.; Pettway, R. E.; Chen, R. S.; Boeger, J. M. and Martinez, J. P. 1995. The population genetics of *Septoria tritici* (teleomorph *Mycosphaerella graminicola*). Canadian J. Bot. 73:292-301.
- McDonald, B. and Martínez, J. P. 1990. Restriction fragment length polymorphisms in *Septoria tritici* occur at a frequency. Current Genetics 17:133138.
- Simón, R. M.; Cordero, A. C.; Castillo, S. N.; Struik, C. P. and Borner, A. 2012. Population structure of *Mycosphaerella graminicola* and location of genes for resistance to the pathogen: recent advances in Argentina. International J. Agron. ID 680275. 7 p.
- Zelikovitch, N. and Eyal, Z. 1991. Reduction in pycnidial coverage after inoculation of wheat with mixtures of isolates of *Septoria tritici*. Plant Dis. 75:907-910.
- Zelikovitch, N.; Eyal, Z. and Kashman, Y. 1992. Isolation, purification and biological activity of an inhibitor from *Septoria tritici*. Phytopathology 82:275-278.

End of the English version



Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México*

Exploring native corn germplasm in central and southern Tamaulipas, Mexico

Sergio Castro Nava^{1§}, José Alberto Lopez Santillan¹, José Agapito Pecina Martínez², Ma. del Carmen Mendoza Castillo² y César A. Reyes Méndez³

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas-Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos. Cd. Victoria, Tamaulipas. 87149. Tel. y Fax. 01 (834) 31-817-21. Ext. 2125. ²Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. C. P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. ³Campo Experimental Río Bravo-INIFAP. Carretera Matamoros-Reynosa, km 61 A. P. 172. C. P. 88900. Río Bravo, Tamaulipas. México. [§]Autor para correspondencia: scastro@uat.edu.mx.

Resumen

Méjico es una nación que no se concibe sin la existencia del maíz. La especie fue domesticada hace 9000 años y presenta una amplia diversidad genética. En diversos estados del país, como Tamaulipas, aún en la actualidad existe una considerable diversidad de variedades de maíz que no han sido exploradas ni estudiadas suficientemente y cuya colección es necesaria como fuente de germoplasma. El objetivo del presente trabajo fue documentar la colecta de poblaciones nativas de maíz en las regiones centro y sur de Tamaulipas, para su conservación, caracterización y futuro aprovechamiento en diferentes programas de mejoramiento genético. Entre 2001 y 2006, se colectaron 215 poblaciones nativas de maíz. Se realizó una intensa exploración en 17 municipios de la zona centro y sur de Tamaulipas. Las poblaciones nativas obtenidas provienen de los municipios de Ocampo (25%), Tula (12%) y San Carlos (10%); en tanto que 53% se obtuvo en otros 14 municipios. El germoplasma colectado se conserva *ex situ* en la Universidad Autónoma de Tamaulipas y el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, para su caracterización y evaluación. Las colecciones de germoplasma, como una fuente de diversidad genética deben ser caracterizadas para un manejo eficiente

Abstract

Mexico is a nation that is inconceivable without the existence of corn. The species was domesticated 9000 years ago and has a wide genetic diversity. In several states, such as Tamaulipas, there is, even today, a considerable diversity of corn varieties that have not been explored or studied enough and which must be collected as a source of germplasm. The aim of this study was to document the collection of native corn populations in central and southern Tamaulipas for their conservation, characterization and utilization in various future breeding programs. Between 2001 and 2006, we collected 215 native corn populations. An intense exploration was carried out in 17 municipalities in central and southern Tamaulipas. The native populations obtained come from the municipalities of Ocampo (25%), Tula (12%) and San Carlos (10%), while 53% were obtained in 14 other municipalities. The collected germplasm is conserved *ex situ* at the Autonomous University of Tamaulipas and the Postgraduate College of Agricultural Sciences for characterization and evaluation. Germplasm collections, being a source of genetic diversity, should be characterized for an efficient management and an effective exploitation that allows improving agricultural crops and productivity

* Recibido: agosto de 2012
Aceptado: marzo de 2013

y una explotación efectiva que permita el mejoramiento y la productividad en la agricultura en la región y otras del país. Existen posibilidades de que se haya perdido, a través de los años, germoplasma reportado con anterioridad, por lo que las colectas de maíces nativos deben continuar, se debe explorar en otras zonas e incorporar al banco otras poblaciones nativas que deben ser conservados para su futura utilización.

Palabras clave: *Zea mays* L., conservación y colección de germoplasma, maíces nativos, recursos genéticos, Tamaulipas.

Introducción

En un mundo donde la población creciente, culturas cambiantes, cambios en el clima y la migración de comunidades indígenas, la pérdida de la diversidad genética del maíz en los centros de origen es un tema de preocupación (Rice *et al.*, 2006).

El maíz fue domesticado a partir del teosintle hace casi 9000 años en México (Doebley, 2004; Kato *et al.*, 2009). La domesticación redujo la diversidad de la especie, en relación con el teosintle (Vigouroux *et al.*, 2002). La variación en poblaciones de maíz domesticado ha sido reducida o reestructurada por fenómenos de deriva genética y selección, tanto la natural como la artificial. Como resultado, en la actualidad se encuentra un gran número de poblaciones nativas adaptadas a condiciones ambientales específicas y adecuadas a una amplia diversidad de usos (Warburton *et al.*, 2008).

Las poblaciones nativas han sido la base para el desarrollo de las variedades modernas de polinización libre y de híbridos en todo el mundo, aunque las poblaciones nativas que no han sido usadas como fuente para mejorar germoplasma de maíz, podrían contener alelos útiles aún sin explotar. Las colecciones de germoplasma juegan un papel importante en el mejoramiento genético; deben ser caracterizadas para su manejo y aprovechamiento eficiente como fuente de diversidad genética, para enfrentar los riesgos debidos a nuevos parásitos, insectos y un estrés ambiental (Reif *et al.*, 2004; Smith, 2007) como temperatura alta o estrés hídrico.

El incremento en la tasa de erosión de las poblaciones nativas hace que la colección del germoplasma en peligro de extinción, sea extremadamente urgente, especialmente

in the Tamaulipas region and in other regions of the country. There is the possibility that previously reported germplasm has been lost through the years, so that collections of native corn should continue, exploring other areas and incorporating to the bank other native populations that should be preserved for future use.

Keywords: *Zea mays* L., Tamaulipas, genetic resources, landraces, preservation and collection of germplasm.

Introduction

In a world with growing population, changing cultures, climate change and migration of indigenous communities, the loss of the genetic diversity of corn in its centers of origin is a matter of concern (Rice *et al.*, 2006).

Corn was domesticated from teosinte almost 9 000 years ago in Mexico (Doebley, 2004; Kato *et al.*, 2009). Domestication reduced the diversity of the species relative to teosinte (Vigouroux *et al.*, 2002). In domesticated corn populations, variation has been reduced or restructured by genetic drift and selection phenomena, both natural and artificial. As a result, today there is a large number of native corn populations adapted to specific environmental conditions and suited to a wide variety of uses (Warburton *et al.*, 2008).

Native corn populations have been the basis for the development of modern open-pollinated varieties and hybrids worldwide, although the native corn populations that have not been used as a source for improving corn germplasm may contain useful alleles as yet untapped. Germplasm collections play an important role in genetic improvement; they should be characterized for an efficient management and exploitation as a source of genetic diversity that allow to face new risks due to pests, insects and environmental stress (Reif *et al.*, 2004; Smith, 2007) such as high temperature or water stress.

The increase in the rate of erosion of native corn populations makes the collection of endangered germplasm an extremely urgent task, especially in the centers of origin and the diversity areas (Damania, 2008). Native genetic resources should be collected for conservation, characterization and utilization in various current and future uses to maintain a broad base of genes for use in breeding and to prevent the permanent loss of the remaining diversity, as well as the extinction of wild relatives.

en los centros de origen y áreas de diversidad (Damania, 2008). Los recursos genéticos nativos deben ser colectados para su conservación, caracterización y aprovechamiento en diversos usos actuales y futuros para mantener una amplia base de genes para utilizarlos en el mejoramiento genético y prevenir pérdidas permanentes de la diversidad restante y la extinción de parientes silvestres.

En Tamaulipas, como en otras regiones de Mesoamérica, existe evidencia de la presencia de segregantes de híbridos maíz-teosintle y otras especies de plantas cultivadas como las encontradas en la Cueva de la Perra, en el Municipio de Ocampo (Mangelsdorf *et al.*, 1956; Mangelsdorf *et al.*, 1967), mostrando la evolución del maíz y la existencia de germoplasma de gran valor en esta área. La reducción de la superficie sembrada de maíz en la zona Centro y Sur de Tamaulipas y en particular en el Municipio de Ocampo, debido al incremento de la superficie sembrada de caña de azúcar (misma situación en otras zonas y otros cultivos) hace urgente la colecta y conservación de germoplasma nativo de maíz (SIAP, SAGARPA, 2011) antes de su desaparición.

El objetivo del presente trabajo fue documentar la colecta de poblaciones nativas de maíz en las regiones centro y sur de Tamaulipas, para su conservación, futura caracterización y aprovechamiento en diferentes programas de mejoramiento genético.

El Noreste de México comprende los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua y Zacatecas. La colecta fue realizada en las regiones centro y sur de Tamaulipas, localizada geográficamente en 22° 12' 31" latitud norte y 27° 40' 42" longitud oeste y 97° 08' 38" latitud norte y 100° 08' 52" longitud oeste, respectivamente. El Trópico de Cáncer cruza Tamaulipas en la parte central y presenta una variedad de climas el cual varía de húmedo a seco de acuerdo a la altitud, desde sub-húmedo y húmedo con verano lluvioso en el sur-sureste hasta templado en el altiplano y partes montañosas del estado. El promedio anual de precipitación es de 891 mm, aunque ocurre con mayor frecuencia e intensidad en los meses de Junio a Octubre, aunque por el cambio climático se generan variaciones entre años y en el inicio y establecimiento de las lluvias. En el área de colecta predomina el verano seco cuya intensidad depende de la localización municipal. Las condiciones de lluvia, hacen posible la agricultura en 21% de la superficie del estado, que es de casi ocho millones de hectáreas, con alto riesgo en varias regiones.

In Tamaulipas, as in other regions of Mesoamerica, there is evidence of the presence of segregating corn-teosinte hybrids and other crop species such as those found in Cueva de la Perra in the municipality of Ocampo (Mangelsdorf *et al.*, 1956; Mangelsdorf *et al.*, 1967) which show the evolution of corn germplasm and the existence of germplasm of great value in this area. The reduction in corn acreage in the central and southern regions of Tamaulipas, particularly in the Municipality of Ocampo, due to an increase in sugar cane acreage (the same situation occurs in other areas with other crops) makes the collection and conservation of native corn germplasm an urgent task (SIAP, SAGARPA, 2011) before its disappearance.

The aim of this study was to document the collection of native corn populations in central and southern Tamaulipas for their conservation, characterization and utilization in various future breeding programs.

Northeastern Mexico includes the states of Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua and Zacatecas. The collection was carried out in the central and southern regions of Tamaulipas, located geographically at 22° 12' 31" N and 27° 40' 42" W, and 97° 08' 38" N and 100° 08' 52" W, respectively. The Tropic of Cancer crosses the center of the state of Tamaulipas, which has a variety of climates from wet to dry according to altitude; from sub-humid and humid with rainy summer in the south-southeast to temperate in the highlands and the mountainous parts of the state. The average annual precipitation is 891 mm, although it occurs with greater frequency and intensity in the months of June to October; however, climate change induces variations between years and also in the starting and establishment dates of the rains. Dry summer predominates in the collection area, the intensity of which depends on the location of the municipality. The rain conditions made agriculture possible in 21% of the state's area, which is nearly eight million hectares, with high risk in various regions.

The native corn populations were collected in 17 municipalities, of which some geographical and climatic characteristics are described in Table 1 between the years 2001-2006, with particular regularity in the period 2001-2004. Other samples of native corn germplasm have been sporadically incorporated into the bank after this collection period. The collection sites explored were selected based on their history of corn production and their historical background (Mangelsdorf *et al.*, 1956), as was the case of the municipality of Ocampo, located in the southern region of the state.

Las poblaciones nativas fueron colectadas en 17 municipios, de los que algunas características geográficas y climáticas se describen en el Cuadro 1 entre los años 2001 a 2006, con mayor regularidad en el período de 2001 a 2004. Después de ese período de colecta se han incorporado al banco de germoplasma otras muestras de maíces criollos de manera esporádica hasta la fecha. Los sitios de colecta explorados fueron seleccionados con base en sus antecedentes de producción de maíz y sus antecedentes históricos (Mangelsdorf *et al.*, 1956) en este último caso como el municipio de Ocampo, localizado en el sur del estado.

Cuadro 1. Características climáticas y geográficas de los 17 municipios de Tamaulipas, México en los que se colectaron poblaciones nativas de maíz.

Table 1. Climatic and geographical characteristics of the 17 municipalities in Tamaulipas, Mexico, in which native corn populations were collected.

Región-Municipio	Latitud-longitud	Altitud (m)	Promedio*		Precipitación (mm)
			Temperatura extrema (°C)	Promedio*	
			Max	Min	
Norte					
Burgos	24°56'54''/98°47'49''	200	43	0	721
Cruillas	24°44'15''/98°32'05''	265	42	-1	801
Centro					
Güemez	23°55'07''/99°00'16''	202	44	0	748
Hidalgo	24°15'09''/99°26'04''	320	41	2	930
Llera	23°15'18''/98°50'00''	210	41	7	675
Padilla	24°03'00''/99°33'00''	153	43	1	697
San Carlos	24°34'52''/98°56'49''	400	45	6	786
San Nicolás	24°41'22''/98°49'47''	615	45	6	712
Victoria	23°43'00''/99°10'00''	350	40	2	883
Villagrán	24°28'14''/99°29'19''	390	41	1	883
Altiplano					
Bustamante	23°26'09''/99°45'15''	1600	36	0	470
Jaumave	23°24'27''/99°22'31''	750	44	2	700
Miquihuana	23°34'26''/99°45'11''	1770	41	4	402
Palmillas	23°18'00''/99°33'00''	1550	42	4	592
Tula	23°00'04''/99°42'45''	1140	43	2	433
Sur					
Gómez Farías	23°01'43''/99°08'45''	380	40	4	1845
Ocampo	22°50'40''/99°19'54''	320	43	0	1379

*Promedio de los últimos 45 años. Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA).

La colecta fue realizada durante los meses de enero y febrero así como Junio y Julio de cada año, después de la cosecha en cada ciclo de cultivo. En cada uno de los 17 municipios visitados fueron obtenidas muestras de maíz directamente de la parcela del agricultor o del lugar de almacenamiento. De cada muestra se colectaron de 20 a 30 mazorcas o de 1 a 2 kg de semilla. De los agricultores se obtuvo la información siguiente: nombre del agricultor; nombre común del maíz; localidad y fecha de

The collection was carried out during the months of January and February, and June and July of each year, after the harvest in each crop cycle. Corn samples were obtained in each of the 17 municipalities visited directly from the farmer's plot or place of storage. Twenty to thirty ears of corn were collected for each sample, or 1 to 2 kg of seeds. The following information was obtained from the farmers: name of the farmer; common name of corn; location and date of collection; grain color; ear length and cob color. Each sample was assigned an identification key. In the case of the ears collected, the grains were separated from the

cob, and, as with the remaining samples, were stored in glass containers, closed and labeled, with grain moisture below 15%.

In Mexico, there are corn genebanks in which a wide genetic diversity is represented, but some regions of Baja California, Tabasco, northern Chiapas and Tamaulipas have not been sufficiently explored. Furthermore, there is no information

colecta; color del grano; longitud de mazorca y color del oloote. A cada muestra se asignó una clave de identificación. En el caso de las mazorcas colectadas, los granos fueron separados del oloote y como el resto de las muestras, fueron almacenadas en contenedores de vidrio, cerrados y etiquetados, con una humedad del grano inferior a 15%.

En México existen bancos de germoplasma de maíz en los que se encuentra representada una amplia diversidad genética; sin embargo, algunas regiones de Baja California, Tabasco, Norte de Chiapas y Tamaulipas no han sido suficientemente exploradas. Además no existe información acerca de los riesgos de degradación (Ortega *et al.*, 1991; Pecina-Martínez *et al.*, 2009) o de contaminación por transgénicos (Quist y Chapela, 2001) en las poblaciones nativas en estas regiones.

Debido a la importancia actual y futura de los recursos genéticos de maíz para el país y en particular para Tamaulipas en programas de mejoramiento genético, se colectaron poblaciones nativas de maíz en el centro y sur de Tamaulipas a partir de 2001. La colecta se realizó en 17 municipios (Cuadro 1) con una altura sobre el nivel del mar entre 153 y 1770 m. Sin embargo, por falta de coincidencia de los ciclos de cultivo con las fechas de colecta y a los pocos recursos, económicos y de personal, no fue posible explorar más sitios, por tal razón es muy probable que existan más poblaciones nativas de maíz que aún no están representados en la colección, por lo que es urgente colectarlos.

La región muestreada tiene climas que van desde seco estepario muy cálido y extremoso (Norte); semicálido extremoso y semiárido (Centro); semicálido seco y subhúmedo (Altiplano) a semicálido extremoso (Sur). Se tiene una precipitación promedio de 803 mm (Cuadro 1), pero que difieren en el inicio y establecimiento de las lluvias, dependiendo del año y la región. El verano es seco y variable en intensidad y amplitud, dependiendo del municipio. Las condiciones de precipitación en la región hacen posible la agricultura de secano, pero con un alto riesgo de estrés por agua, altas temperaturas o la combinación de ambos factores. Esto queda de manifiesto en el Altiplano, con un promedio de precipitación de sólo 519 mm, en contraste con los municipios de la zona Sur que presentan un promedio de precipitación superior a 1 600 mm. La temperatura máxima extrema en los últimos 45 años fue superior a 40 °C en todos los municipios, con excepción de Bustamante (36 °C) (Cuadro 1).

about the risks of degradation (Ortega *et al.*, 1991; Pecina-Martínez *et al.*, 2009) or of transgenic contamination (Quist and Chapela, 2001) for the native corn populations of these regions.

Due to the current and future importance of corn genetic resources for the breeding programs carried out in the country and particularly in Tamaulipas, native corn populations were collected in central and southern Tamaulipas since 2001. The collection was carried out in 17 municipalities (Table 1) at between 153 and 1770 masl. However, due to the lack of coincidence between the crop cycles and the collection dates, as well as the scarce resources, both financial and personnel, with which the collection work had to be done, it was not possible to explore more places; therefore, it is very likely that there are more native corn populations that are not yet represented in the collection, making their collection an urgent matter.

The sampled region has climates ranging from very warm, extreme dry steppe in the North to extreme semi-arid, semi-warm in the Center, semi-warm dry and sub-humid in the Plateau, and extreme semi-warm in the South. There is an average rainfall of 803 mm (Table 1), but the start and establishment of the rains depend on the year and the region. Summer is dry and variable in intensity and amplitude, depending on the municipality. The precipitation conditions in the region make rainfed agriculture possible, but with a high risk of water stress, high temperatures, or a combination of both. This is evident in the Plateau, with an average rainfall of only 519 mm, in contrast to the municipalities of the south which have a higher than average rainfall of 1600 mm. The extreme maximum temperature in the past 45 years was higher than 40 °C in all municipalities, except Bustamante (36 °C) (Table 1).

The weather conditions strongly impact productivity in each of the municipalities of collection (Table 2), reducing corn acreage (27%), generating low yields and increasing the rainfed area (17%) each year, all this with respect to the collection period 2003-2008 (SIAP, SAGARPA, 2011). According to the data in Tables 1 and 2, in this region temperature is probably the main factor limiting corn production and the availability of water in the soil, as a result of climate change.

The studies by Pecina-Martínez *et al.* (2009) and Pecina *et al.* (2011) in some of the native corn populations collected found that these populations exhibit a wide genetic diversity

Las condiciones climáticas impactan fuertemente la productividad en cada uno de los municipios de colecta (Cuadro 2), reduciendo la superficie sembrada de maíz (27%), produciendo bajos rendimientos e incrementando la superficie de secano (17%) cada año, esto en relación al período de colecta 2003-2008 (SIAP, SAGARPA, 2011). De acuerdo con los datos de los Cuadros 1 y 2, probablemente el principal factor que está limitando la producción de maíz en la región es la temperatura y la disponibilidad de agua en el suelo, como resultado del cambio climático.

Cuadro 2. Proporción de superficie sembrada total y de secano y rendimiento de maíz en la región centro y sur de Tamaulipas en el periodo 2003-2008.

Table 2. Ratio of total rainfed area sown and corn yield in the central and southern regions of Tamaulipas in 2003-2008.

Aspectos	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Proporción de superficie sembrada (%)	50.8	39.2	29.1	29.2	35.0	37.1
Rendimiento promedio ($t ha^{-1}$)	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.5
Proporción de superficie de secano (%)	61.7	51.3	62.9	61.8	70.1	72.3

Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Los estudios realizados por Pecina-Martínez *et al.* (2009) y Pecina *et al.* (2011) en algunas de las poblaciones nativas colectadas, se encontró que exhiben una amplia diversidad genética en características agronómicas y gran potencial de rendimiento, la misma diversidad que se ha señalado en poblaciones nativas de Puebla (Hortelano *et al.*, 2012) y Oaxaca (López-Romero *et al.*, 2005). Esta diversidad señalada para las poblaciones nativas de Tamaulipas se podría atribuir a las razones siguientes: 1. A la fuerte presión de selección natural ocasionada por enfermedades, plagas y algún tipo de estrés ambiental como sequía, temperatura alta o la combinación de ambos; 2. A la geografía (altitud y latitud), la fisiografía y las condiciones ecológicas. El resumen de las características fenológicas de las colectas se muestra en el Cuadro 3. En Tamaulipas, los criollos conservados por los agricultores han sido reconocidos por sus características agronómicas; sin embargo, a pesar de los estudios señalados, poco trabajo se ha realizado en investigación y mejoramiento genético de dicho germoplasma en los últimos 20 años, como lo señalan Reyes y Cantú (2006); en este contexto además de los estudios citados arriba es necesario considerar el estudio de Castro-Nava *et al.* (2011) quienes demostraron que existen poblaciones nativas con tolerancia para ambientes con alta temperatura, como los que imperan en el Noreste de México.

regarding their agronomic characteristics and also great yield potential; the same diversity has been noted in native corn populations in Puebla (Horton *et al.*, 2012) and Oaxaca (López-Romero *et al.*, 2005). The diversity of the native corn populations of Tamaulipas could be attributed to the following reasons: 1. The strong natural selection pressure caused by diseases, pests and environmental stress such as drought, high temperature or a combination of both; 2. Geography (altitude and latitude), physiography and ecological conditions. The summary of the phenological

characteristics of the collections is shown in Table 3. In Tamaulipas, the native corns conserved by farmers have been recognized for their agronomic characteristics; however, despite the studies referred to above, little work has been done in research and genetic improvement of the corn germplasm in the past 20 years, as indicated by Reyes and Cantú (2006); in this context, it is necessary to consider, in addition to the studies cited above, the study of Castro-Nava *et al.* (2011), who showed that native corn populations are tolerant to high temperature environments such as those prevailing in northeastern Mexico.

Cuadro 3. Principales características de grano y mazorca de los criollos de maíz colectados en la región centro y sur de Tamaulipas.

Table 3. Main characteristics of grains and ears of native corns collected in the central and southern regions of Tamaulipas.

Carácter	Fenotipo
Color del grano	Blanco, crema, amarillo, rojo, morado
Número de hileras	14-20
Color del oloote	Blanco, rojo, morado, crema

Durante el periodo de colecta de 2001 a 2006, se obtuvieron 215 poblaciones nativas (Cuadro 4) provenientes de ambientes diversos en los que muestran adaptación. Las poblaciones obtenidas provienen de los municipios de Ocampo (25%), Tula (12%) y San Carlos (10%), en tanto que en otros 14 municipios se obtuvo 53%. Las poblaciones de Ocampo, fueron colectados en sitios cercanos a las Cuevas del Cañón del Infiernillo y la Cueva de la Perra, y de acuerdo con Mangelsdorf *et al.* (1967) representan poblaciones pertenecientes a las razas Chapalote y Nal-Tel, descritas por Wellhausen *et al.* (1952), aunque, de acuerdo con Mangelsdorf *et al.* (1967), los restos encontrados demostraron la presencia de razas como Tuxpeño, Vandeño, Cónico, Harinoso y Olotillo.

Cuadro 4. Colectas de poblaciones nativas obtenidas por municipio en la región centro y sur de Tamaulipas en el periodo 2001-2006.

Table 4. Collections of native populations obtained by municipality in central and southern Tamaulipas in the period 2001-2006.

Municipio	2001	2003	2004	2005	2006	Total
Burgos		6				6
Bustamante			14			14
Cruillas		1				1
Gómez Farías		9				9
Güemez	2	1	1			4
Hidalgo	3	9				12
Jaumave	1		15			16
Llera		15				15
Miquihuana			15			15
Ocampo	45		5	2	1	53
Padilla	2	9				11
Palmillas		1				1
San Carlos	19	3				22
San Nicolás		1				1
Tula	8	16	1			25
Victoria	5	1				6
Villagrán		4				4
Total	116	76	51	2	1	215

Además de las colectas realizadas en Tamaulipas, existen 31 colectas del banco de germoplasma de la Universidad Autónoma de Nuevo León, realizadas en 2001, lo cual en total suman 246 accesiones.

Esto no se confirma plenamente con las características de mazorca de las muestras obtenidas de las poblaciones colectadas, ya que en base a dichas características, las principales razas presentes son Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Ratón; además de que en algunas muestras sólo se obtuvo grano. Esto significa que probablemente la colecta de poblaciones nativas en el centro y sur de Tamaulipas no haya sido suficiente para tener una muestra representativa del germoplasma existente, o por otro lado que gran parte del recurso genético reportado por Mangelsdorf *et al.* (1967), ya se haya perdido. Una buena razón para pensar esto es la

During the collection period 2001-2006, 215 native corn populations were obtained (Table 4) from diverse environments to which they show adaptation. The populations obtained come from the municipalities of Ocampo (25%), Tula (12%) and San Carlos (10%), while 53% was obtained in 14 other municipalities. The Ocampo populations were collected in sites near the caves of Cañon del Infiernillo and in the Cueva de la Perra; according to Mangelsdorf *et al.* (1967), they represent populations belonging to the races Chapalote and Nal-Tel, described by Wellhausen *et al.* (1952), although, according to Mangelsdorf *et al.* (1967), the remains found showed the presence of races such as Tuxpeño, Vandeño, Cónico, Harinoso and Olotillo.

In addition to the collections made in Tamaulipas, there are 31 collections in the genebank of the Autonomous University of Nuevo León, made in 2001, summing a total of 246 accessions.

This is not fully confirmed by the characteristics of the ear of the samples obtained from the collected populations because, based on these characteristics, the main races present are Tuxpeño, Tuxpeño Norteño and Ratón; in addition to that, only grain was obtained in some samples. This probably means that the collection of native populations in central

introducción de variedades e híbridos mejorados en algunas zonas o definitivamente que el cultivo del maíz haya sido desplazado por otros cultivos.

Las áreas exploradas en el período 2001-2006 no cubren la totalidad del territorio que se cultiva con maíz debido a la falta de coincidencia de los ciclos de siembra con los de colecta, pero principalmente por el personal disponible para realizarlo, por tanto es necesario continuar recorriendo y colectando éstas y otras zonas, debido a que se tiene conocimiento de la existencia de más poblaciones nativas de maíz. Por otra parte, muchas poblaciones nativas han crecido en diferentes condiciones ecológicas (Cuadro 1) y por lo tanto morfológica y fisiológicamente poseen diferentes características (Pecina-Martínez *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011; Castro-Nava *et al.*, 2011).

Al respecto, Pecina-Martínez *et al.* (2009) estudiaron 29 criollos de esta colección, además de otros grupos de genotipos de los Valles Altos de México, encontraron que los criollos de Tamaulipas exhibieron una alta variabilidad e interacción favorable con el ambiente con respecto a las variables número de granos, producción y compatibilidad con el germoplasma de Valles Altos para alto rendimiento, además de que algunas de estas poblaciones fueron prolíficas; es decir, las evidencias fenológicas de las poblaciones nativas y los resultados de las investigaciones señaladas indican la existencia de variación genética, con alto potencial de aprovechamiento en diferentes aspectos.

Las colectas de germoplasma, como una fuente de diversidad genética, deben ser caracterizadas suficientemente para un aprovechamiento eficiente y efectivo que permita mejorar la productividad agrícola actual, de ésta y otras regiones como lo mostraron Castro-Nava *et al.* (2011) en 28 genotipos de la colección de Tamaulipas, en las que encontraron que algunas de las poblaciones presentaron resistencia a temperaturas por arriba de 40 °C.

Conclusiones

Se colectaron 215 poblaciones nativas de maíz en 17 municipios del centro y sur de Tamaulipas. Se observó una amplia variabilidad fenotípica en características de mazorca y grano entre las poblaciones nativas bajo estudio, aunque lo más importante en el futuro inmediato es que deben ser

and southern Tamaulipas has not been enough to have a representative sample of the existing germplasm, or that much of the genetic resources reported by Mangelsdorf *et al.* (1967) have already been lost. A good reason to think so is the introduction of improved varieties and hybrids and that corn cultivation has been replaced by other crops in some areas.

The areas explored in the period 2001-2006 do not cover all of the territory that is cultivated with corn due to the lack of coincidence between planting cycles and collection, but mainly because the lack of staff; therefore, it is necessary to continue exploring and collecting in these and other areas, as it is known that there are more populations of native corn. Moreover, many native corn populations have grown in different ecological conditions (Table 1) and have therefore different morphological and physiological characteristics (Pecina-Martínez *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011; Castro-Nava *et al.* 2011).

In this regard, Pecina-Martínez *et al.* (2009) studied 29 native corns of this collection, as well as other groups of genotypes from the high valleys of Mexico; they found that the native corns from Tamaulipas exhibited high variability and a favorable interaction with the environment with respect to the following variables: number of grains, production and compatibility in terms of yield with the germplasm of the high valleys. They also found that some of these populations were prolific, i.e. the phenological evidence from the native corn populations and the results of the research indicate the existence of genetic variation, with high potential for use in different manners.

Germplasm collections, being a source of genetic diversity, must be characterized sufficiently for an efficient and effective use that helps improve the current agricultural productivity of this and other regions, as demonstrated by Castro-Nava *et al.* (2011) in 28 genotypes of the collection of Tamaulipas, in which they found that some of the populations were resistant at temperatures above 40 °C.

Conclusions

Two hundred and fifteen native corn populations were collected in 17 municipalities in central and southern Tamaulipas. A wide phenotypic variability of the characteristics of ears and grains was observed between

conservados para su utilización científica posterior. Es probable que se haya perdido germoplasma de alto valor, por lo que necesario continuar explorando y colectando nuevas poblaciones nativas en las regiones centro y sur de Tamaulipas.

Agradecimientos

El estudio fue financiado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de los proyectos J41116-Z, 135634-B y 52366 y por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) a través del Cuerpo Académico UATAM-CA-23.

Literatura citada

- Castro-Nava, S.; Ramos-Ortíz, V. H.; Reyes-Méndez, C. A.; Briones-Encinia, F. and López-Santillán, J. A. 2011. Preliminary field screening of maize landrace germplasm from northeastern México under high temperatures. *Maydica*. 56:77-82.
- Damania, A. B. 2008. History, achievements, and current status of genetic resources conservation. *Agron. J.* 100:9-21.
- Doebley, J. 2004. The genetics of maize evolution. *Ann. Rev. Gen.* 38:37-59.
- Hortelano, S. R.; Gil, A. M; Santacruz, V. A.; López, S. H.; López P. A. y Miranda, C. S. 2012. Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(2):97-109.
- Kato, T.A.; Mapes, C.; Mera, L. M.; Serratos, J.A. y Bye, R.A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF. 116 p.
- López-Romero, G.; Santacruz-Varela, A.; Muñoz-Orozco, A.; Castillo-González, F.; Córdoba-Téllez, L. y Vaquera-Huerta, H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30(5):284-290.
- Mangelsdorf, P. C.; MacNeish, R. S. and Galinat, W. C. 1956. Archaeological evidence on the diffusion and evolution of maize in northeastern Mexico. *Botanical Museum Leaflets Harvard University* 17:125-150.
- Mangelsdorf, P. C.; MacNeish, R. S. and Galinat, W. C. 1967. Prehistoric maize, teosinte, and *tripsacum* from Tamaulipas, Mexico. *Botanical Museum Leaflets Harvard University* 22:33-62.
- Ortega, P.R.; Sánchez, G.J.J.; Castillo, G.F.y Hernández, C.J.M. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. In: Ortega, P.R.; Palomino, H.G.; Castillo, G.F.; González, H. V.A. y Livera, M. M. (eds.) *Avances en el estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. SOMEFI. Chapingo, México. 161-185 pp.
- Pecina-Martínez, J. A.; Mendoza-Castillo, M. C.; López-Santillán, J. A.; Castillo-González, F. y Mendoza-Rodríguez, M. 2009. Phenological and morphological response of Tamaulipas maize to contrasting environments in México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Pecina, M. J. A.; Mendoza, C. M. C.; López, S. J. A.; Castillo, G. F.; Mendoza, R. M. and Ortiz, C. J. 2011. Grain yield and yield components of native maize populations from Tamaulipas state evaluated under contrasting environments. *Rev. Fitotec. Mex.* 34(2):85-92.
- Quist, D. and Chapela, I. H. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, México. *Nature* 414:541-543.
- Reyes, M. C. A. y Cantú, A. M. A. 2006. Maíz. In: Rodríguez, B. L. A. (ed.) *Campo Experimental Río Bravo: 50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas. Historia, logros y retos*. Libro técnico Núm. 1 INIFAP. México. 55-74 p.
- Reif, J.C.; Xia, X. C.; Melchinger, A. E.; Warburton, M. L.; Hoisington, D. A.; Beck, D.; Bohn, M. and Frisch, M. 2004. Genetic diversity determined within and among CIMMYT maize populations of tropical, subtropical, and temperate germplasm by SSR markers. *Crop Sci.* 44:326-334.
- Rice, E. B.; Smith, M. E.; Mitchell, S. E. and Kresovich, S. 2006. Conservation and change: a comparison of *In Situ* and *Ex Situ* conservation of Jala maize germplasm. *Crop Sci.* 46:428-436.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. 2011. http://www_siap.sagarpa.gob.mx. (consultado noviembre, 2011).
- Smith, S. 2007. Pedigree pedigree background changes in U.S. hybrid maize between 1980 and 2004. *Crop Sci.* 47:1914-1926.
- Vigouroux, Y.; McMullen, M.; Hittinger, C. T.; Houchis, K.; Shulz, L.; Kresovich, S.; Matsuoaka, Y. and Doebley, J. 2002. Identifying genes of agronomic importance in maize by screening microsatellites for evidence of selection during domestication. *Proceedings of National Academy of Science USA* 99:9650-9655.
- Warburton, M. L.; Reif, J. C.; Frisch, M.; Bohn, M.; Bedoya, C.; Xia, X. C.; Crossa, J.; Franco, J.; Hoisington, D.; Pixley, K.; Taba, S. and Melchinger, A. E. 2008. Genetic diversity in CIMMYT nontemperate maize germplasm: landraces, open pollinated varieties, and inbred lines. *Crop Sci.* 48:617-624.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M. and Hernández, X. E. in collaboration with Mangelsdorf, P. C. 1952. Races of maize in Mexico. Bussey Institution, Harvard University.

End of the English version

INSTRUCCIONES PARA AUTORES(AS)

La Revista Mexicana en Ciencias Agrícolas (REMEXCA), ofrece a los investigadores(as) en ciencias agrícolas y áreas afines, un medio para publicar los resultados de las investigaciones. Se aceptarán escritos de investigación teórica o experimental, en los formatos de artículo científico, nota de investigación, ensayo y descripción de cultivares. Cada documento será arbitrado y editado por un grupo de expertos(as) designados por el Comité Editorial; sólo se aceptan escritos originales e inéditos en español o inglés y que no estén propuestos en otras revistas.

Las contribuciones a publicarse en la REMEXCA, deberán estar escritas a doble espacio (incluidos cuadros y figuras) y usando times new roman paso 11 en todo el manuscrito, con márgenes de 2.5 cm en los cuatro lados. Las cuartillas estarán numeradas en la esquina inferior derecha y numerar los renglones iniciando con 1 en cada página. Los apartados: resumen, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y literatura citada, deberán escribirse en mayúsculas y negritas alineadas a la izquierda.

Artículo científico. Escrito original e inédito que se fundamenta en resultados de investigaciones, en los que se ha estudiado la interacción de dos o más tratamientos en varios experimentos, localidades y años para obtener conclusiones válidas. Los artículos deberán tener una extensión máxima de 20 cuartillas (incluidos cuadros y figuras) y contener los siguientes apartados: 1) título; 2) autores(as); 3) institución de trabajo de autores(as); 4) dirección de los autores(as) para correspondencia y correo electrónico; 5) resumen; 6) palabras clave; 7) introducción; 8) materiales y métodos; 9) resultados y discusión; 10) conclusiones y 11) literatura citada.

Nota de investigación. Escrito que contiene resultados preliminares y transientes que el autor(a) desea publicar antes de concluir su investigación; su extensión es de ocho cuartillas (incluidos cuadros y figuras); contiene los mismos apartados que un artículo científico, pero los incisos 7 al 9 se escribe en texto consecutivo; es decir, sin el título del apartado.

Ensayo. Escrito recapitulativo generado del análisis de temas importantes y de actualidad para la comunidad científica, en donde el autor(a) expresa su opinión y establece sus conclusiones sobre el tema tratado; deberá tener una extensión máxima de 20 cuartillas (incluidos cuadros y figuras). Contiene los apartados 1 al 6, 10 y 11 del artículo científico. El desarrollo del contenido del ensayo se trata en apartados de acuerdo al tema, de cuya discusión se generan conclusiones.

Descripción de cultivares. Escrito hecho con la finalidad de proporcionar a la comunidad científica, el origen y las características de la nueva variedad, clon, híbrido, etc; con extensión máxima de ocho cuartillas (incluidos cuadros y figuras), contiene los apartados 1 al 6 y 11 del artículo científico. Las descripciones de cultivares es en texto consecutivo, con información relevante sobre la importancia del cultivar, origen, genealogía, método de obtención, características fenotípicas y agronómicas (condiciones climáticas, tipo de suelo, resistencia a plagas, enfermedades y rendimiento), características de calidad (comercial, industrial, nutrimental, etc) y disponibilidad de la semilla.

Formato del escrito

Título. Debe aportar una idea clara y precisa del escrito, utilizando 13 palabras como máximo; debe ir en mayúsculas y negritas, centrado en la parte superior.

Autores(as). Incluir un máximo de seis autores, los nombres deberán presentarse completos (nombres y dos apellidos). Justificados inmediatamente debajo del título, sin grados académicos y sin cargos laborales; al final de cada nombre se colocará índices numéricos y se hará referencia a estos, inmediatamente debajo de los autores(as); en donde, llevará el nombre de la institución al que pertenece y domicilio oficial de cada autor(a); incluyendo código postal, número telefónico y correos electrónicos; e indicar el autor(a) para correspondencia.

Resumen y abstract. Presentar una síntesis de 250 palabras como máximo, que contenga lo siguiente: justificación, objetivos, lugar y año en que se realizó la investigación, breve descripción de los materiales y métodos utilizados, resultados, y conclusiones; el texto se escribe en forma consecutiva.

Palabras clave y key words. Se escriben después del resumen y sirven para incluir al artículo científico en índices y sistemas de información. Seleccionar tres o cuatro palabras y no incluir palabras utilizadas en el título. Los nombres científicos de las especies mencionadas en el resumen, deberán colocarse como palabras clave y key words.

Introducción. Su contenido debe estar relacionado con el tema específico y el propósito de la investigación; señala el problema e importancia de la investigación, los antecedentes bibliográficos que fundamenten la hipótesis y los objetivos.

Materiales y métodos. Incluye la descripción del sitio experimental, materiales, equipos, métodos, técnicas y diseños experimentales utilizados en la investigación.

Resultados y discusión. Presentar los resultados obtenidos en la investigación y señalar similitudes o divergencias con aquellos reportados en otras investigaciones publicadas. En la discusión resaltar la relación causa-efecto derivada del análisis.

Conclusiones. Redactar conclusiones derivadas de los resultados relevantes, relacionados con los objetivos e hipótesis del trabajo.

Literaturacitada. Incluir preferentemente citas bibliográficas recientes de artículos científicos de revistas reconocidas, no incluir resúmenes de congresos, tesis, informes internos, página web, etc. Todas las citas mencionadas en el texto deberán aparecer en la literatura citada.

Observaciones generales

En el documento original, las figuras y los cuadros deberán utilizar unidades del Sistema Internacional (SI). Además, incluir los archivos de las figuras por separado en el programa original donde fue creado, de tal manera que permita, de ser necesario hacer modificaciones; en caso de incluir fotografías, estas deben ser originales, escaneadas en alta resolución y enviar por separado el archivo electrónico. El título de las figuras, se escribe con mayúsculas y minúsculas, en negritas; en gráfica de barras y pastel usar texturas de relleno claramente contrastantes; para gráficas de líneas, usar símbolos diferentes.

El título de los cuadros, se escribe con mayúsculas y minúsculas, en negritas; los cuadros no deben exceder de una cuartilla, ni cerrarse con líneas verticales; sólo se aceptan tres líneas horizontales, las cabezas de columnas van entre las dos primeras líneas y la tercera sirve para terminar el cuadro; además, deben numerarse en forma progresiva conforme se citan en el texto y contener la información necesaria para que sean fáciles de interpretar. La información contenida en los cuadros no debe duplicarse en las figuras y viceversa, y en ambos casos incluir comparaciones estadísticas.

Las referencias de literatura al inicio o en medio del texto, se utiliza el apellido(s) y el año de publicación entre paréntesis; por ejemplo, Vollebregt (2010) o Whitelam y Franklin (2012) si son dos autores(as). Si la cita es al final del texto, colocar entre paréntesis el apellido(s) coma y el año; ejemplo: (Vollebregt, 2010) o (Whitelam y Franklin, 2012). Si la publicación que se cita tiene más de dos autores(as), se escribe el primer apellido del autor(a) principal, seguido la abreviatura *et al.* y el año de la publicación; la forma de presentación en el texto es: Parry *et al.* (2010) o al final del texto (Parry *et al.*, 2010). En el caso de organizaciones, colocar las abreviaturas o iniciales; ejemplo, FAO (2012) o (FAO, 2012).

Formas de citar la literatura

Artículos en publicaciones periódicas. Las citas se deben colocar en orden alfabético, si un autor(a) principal aparece en varios artículos de un mismo año, se diferencia con letras a, b, c, etc. 1) escribir completo el primer apellido con coma y la inicial(es) de los nombres de pila con punto. Para separar dos autores(as) se utiliza la conjunción *<y>* o su equivalente en el idioma en que está escrita la obra. Cuando son más de dos autores(as), se separan con punto y coma, entre el penúltimo y el último autor(a) se usa la conjunción *<y>* o su equivalente. Si es una organización, colocar el nombre completo y entre paréntesis su sigla; 2) año de publicación punto; 3) título del artículo punto; 4) país donde se edita punto, nombre de la revista punto y 5) número de revista y volumen entre paréntesis dos puntos, número de la página inicial y final del artículo, separados por un guión (i. e. 8(43):763-775).

Publicaciones seriales y libros. 1) autor(es), igual que para artículos; 2) año de publicación punto; 3) título de la obra punto. 4) si es traducción (indicar número de edición e idioma, nombre del traductor(a) punto; 5) nombre de la editorial punto; 6) número de la edición punto; 7) lugar donde se publicó la obra (ciudad, estado, país) punto; 8) para folleto, serie o colección colocar el nombre y número punto y 9) número total de páginas (i. e. 150 p.) o páginas consultadas (i. e. 30-45 pp.).

Artículos, capítulos o resúmenes en obras colectivas (libros, compendios, memorias, etc). 1) autor(es), igual que para artículos; 2) año de publicación punto; 3) título del artículo, capítulo o memoria punto; 4) expresión latina *In:* 5) título de la obra colectiva punto; 6) editor(es), compilador(es) o coordinador(es) de la obra colectiva [se anotan igual que el autor(es) del artículo] punto, se coloca entre paréntesis la abreviatura (ed. o eds.), (comp. o comps.) o (coord. o coords.), según sea el caso punto; 7) si es traducción (igual que para publicaciones seriadas y libros); 8) número de la edición punto; 9) nombre de la editorial punto; 10) lugar donde se publicó (ciudad, estado, país) punto y 11) páginas que comprende el artículo, ligadas por un guión y colocar pp minúscula (i. e. 15-35 pp.).

Envío de los artículos a:

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212681. Correo electrónico: revista_atm@yahoo.com.mx. Costo de suscripción anual \$ 1 500.00 (8 publicaciones). Precio de venta por publicación \$ 200.00 (más costo de envío).

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The Mexican Journal in Agricultural Sciences (REMEXCA), offers to the investigators in agricultural sciences and compatible areas, means to publish the results of the investigations. Writings of theoretical and experimental investigation will be accepted, in the formats of scientific article, notice of investigation, essay and cultivar description. Each document shall be arbitrated and edited by a group of experts designated by the Publishing Committee; accepting only original and unpublished writings in Spanish or English and that are not offered in other journals.

The contributions to publish themselves in the REMEXCA, must be written in double-space (including tables and figures) and using "times new roman" size 11 in all the manuscript, with margins in the four flanks of 2.5 cm. All the pages must be numbered in the right inferior corner and numbering the lines initiating with 1 in each page. The sections: abstract, introduction, materials and methods, results, discussion, conclusions, acknowledgments and mentioned literature, must be in upper case and bold left aligned.

Scientific article. Original and unpublished writing which is based on researching results, in which the interaction of two or more treatments in several experiments, locations through many years to draw valid conclusions have been studied. Articles should not exceed a maximum of 20 pages (including tables and figures) and contain the following sections: 1) title, 2) author(s), 3) working institution of the author(s), 4) address of the author(s) for correspondence and e-mail; 5) abstract; 6) key words; 7) introduction; 8) materials and methods; 9) results and discussion; 10) conclusions and 11) cited literature.

Notice of investigation. Writing that contains transcendental preliminary results that the author wishes to publish before concluding its investigation; its extension of eight pages (including tables and figures); it contains the same sections that a scientific article, but interjections 7 to 9 are written in consecutive text; that is to say, without the title of the section.

Essay. Generated summarized writing of the analysis of important subjects and the present time for the scientific community, where the author expresses its opinion and settles down its conclusions on the treated subject; pages must have a maximum extension of 20 (including tables and figures). It contains sections 1 to 6, 10 and 11 of the scientific article. The development of the content of the essay is

questioned in sections according to the topic, through this discussion conclusions or concluding remarks should be generated.

Cultivar description. Writing made in order to provide the scientific community, the origin and the characteristics of the new variety, clone, hybrid, etc; with a maximum extensions of eight pages (including tables and figures), contains sections 1 to 6 and 11 of the scientific article. The descriptions of cultivars is in consecutive text, with relevant information about the importance of cultivar, origin, genealogy, obtaining method, agronomic and phonotypical characteristics (climatic conditions, soil type, resistance to pests, diseases and yield), quality characteristics (commercial, industrial, nutritional, etc) and availability of seed.

Writing format

Title. It should provide a clear and precise idea of the writing, using 13 words or less, must be in capital bold letters, centered on the top.

Authors. To include six authors or less, full names must be submitted (name, surname and last name). Justified, immediately underneath the title, without academic degrees and labor positions; at the end of each name it must be placed numerical indices and correspondence to these shall appear, immediately below the authors; bearing, the name of the institution to which it belongs and official address of each author; including zip code, telephone number and e-mails; and indicate the author for correspondence.

Abstract and resumen. Submit a summary of 250 words or less, containing the following: justification, objectives, location and year that the research was conducted, a brief description of the materials and methods, results and conclusions, the text must be written in consecutive form.

Key words and palabras clave. It was written after the abstract which serve to include the scientific article in indexes and information systems. Choose three or four words and not include words used in the title. Scientific names of species mentioned in the abstract must be register as key words and palabras clave.

Introduction. Its content must be related to the specific subject and the purpose of the investigation; it indicates the issues and importance of the investigation, the bibliographical antecedents that substantiate the hypothesis and its objectives.

Materials and methods. It includes the description of the experimental site, materials, equipment, methods, techniques and experimental designs used in research.

Results and discussion. To present/display the results obtained in the investigation and indicate similarities or divergences with those reported in other published investigations. In the discussion it must be emphasize the relation cause-effect derived from the analysis.

Conclusions. Drawing conclusions from the relevant results relating to the objectives and working hypotheses.

Cited literature. Preferably include recent citations of scientific papers in recognized journals, do not include conference proceedings, theses, internal reports, website, etc. All citations mentioned in the text should appear in the literature cited.

General observations

In the original document, the figures and the pictures must use the units of the International System (SI). Also, include the files of the figures separately in the original program which was created or made in such a way that allows, if necessary to make changes, in case of including photographs, these should be originals, scanner in resolution high and send the electronic file separately. The title of the figures is capitalized and lower case, bold; in bar and pie graphs, filling using clearly contrasting textures; for line graphs use different symbols.

The title of the tables, must be capitalized and lower case, bold; tables should not exceed one page, or closed with vertical lines; only three horizontal lines are accepted, the head of columns are between the first two lines and the third serves to complete the table; moreover, must be numbered progressively according to the cited text and contain the information needed to be easy to understand. The information contained in tables may not be duplicated in the figures and vice versa, and in both cases include statistical comparisons.

Literature references at the beginning or middle of the text use the surname(s) and year of publication in brackets, for example, Vollebregt (2010) or Whitelam and Franklin (2012) if there are two authors(as). If the reference is at the end of the text, put in brackets the name(s) coma and the year, eg (Vollebregt, 2010) or (Whitelam and Franklin, 2012). If the cited publication has more than two authors, write the surname of the leading author, followed by “*et al.*” and year of publication.

Literature citation

Articles in journals. Citations should be placed in alphabetical order, if a leading author appears in several articles of the same year, it differs with letters a, b, c, etc. 1) Write the surname complete with a comma and initial(s) of the names with a dot. To separate two authors the “and” conjunction is used or its equivalent in the language the work it is written on. When more than two authors, are separated by a dot and coma, between the penultimate and the last author a “and” conjunction it is used or it’s equivalent. If it is an organization, put the full name and the acronym in brackets; 2) Year of publication dot; 3) title of the article dot; 4) country where it was edited dot, journal name dot and 5) journal number and volume number in parentheses two dots, number of the first and last page of the article, separated by a hyphen (ie 8 (43):763-775).

Serial publications and books. 1) author(s), just as for articles; 2) year of publication dot; 3) title of the work dot. 4) if it is translation (indicate number of edition and language of which it was translated and the name of the translator dot; 5) publisher name dot; 6) number of edition dot; 7) place where the work was published (city, state, country) dot; 8) for pamphlet, series or collection to place the name and number dot and 9) total number of pages (i. e. 150 p.) or various pages (i. e. 30-45 pp.).

Articles, chapters or abstracts in collective works (books, abstracts, reports, etc). 1) author(s), just as for articles; 2) year of publication dot; 3) title of the article, chapter or memory dot; 4) Latin expression *In* two dots; 5) title of the collective work dot; 6) publisher(s), compiler(s) or coordinating(s) of the collective work [written just like the author(s) of the article] dot, at the end of this, the abbreviation is placed between parenthesis (ed. or eds.), (comp. or comps.) or (cord. or cords.), according to is the case dot; 7) if it is a translation (just as for serial publications and books); 8) number of the edition dot; 9) publisher name dot; 10) place where it was published (city, state, country) and 11) pages that includes the article, placed by a hyphen and lowercase pp (i. e. 15-35 pp.).

Submitting articles to:

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212681. E-mail: revista_atm@yahoo.com.mx. Cost of annual subscription \$ 127.00 dollars (8 issues). Price per issue \$ 20.00 dollars (plus shipping).

Mandato:

A través de la generación de conocimientos científicos y de innovación tecnológica agropecuaria y forestal como respuesta a las demandas y necesidades de las cadenas agroindustriales y de los diferentes tipo de productores, contribuir al desarrollo rural sustentable mejorando la competitividad y manteniendo la base de recursos naturales, mediante un trabajo participativo y corresposable con otras instituciones y organizaciones públicas y privadas asociadas al campo mexicano.

Misión:

Generar conocimientos científicos e innovaciones tecnológicas y promover su trasferencia, considerando un enfoque que integre desde el productor primario hasta el consumidor final, para contribuir al desarrollo productivo, competitivo y sustentable del sector forestal, agrícola y pecuario en beneficio de la sociedad.

Visión:

El instituto se visualiza a mediano plazo como una institución de excelencia científica y tecnológica, dotada de personal altamente capacitado y motivado; con infraestructura, herramientas de vanguardia y administración moderna y autónoma; con liderazgo y reconocimiento nacional e internacional por su alta capacidad de respuesta a las demandas de conocimientos, innovaciones tecnológicas, servicios y formación de recursos humanos en beneficio del sector forestal, agrícola y pecuario, así como de la sociedad en general.

Retos:

Aportar tecnologías al campo para:

- Mejorar la productividad y rentabilidad
- Dar valor agregado a la producción
- Contribuir al desarrollo sostenible

Atiende a todo el país a través de:

8 Centros de Investigación Regional (CIR'S)

5 Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria (CENID'S)

38 Campos Experimentales (CE)

Dirección física:

Progreso 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, Distrito Federal, México. C. P. 04010

Para más información visite: http://www.inifap.gob.mx/otros_sitios/revistas_cientificas.htm.

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas



Visite nuestro sitio de internet:

www.cienciasagricolas.org.mx

