



Portada y contraportada: Felipe Camacho García
Osesión II, mármol esgroleado, 2010
Linx, acrílico, 2016



La presente obra recopila investigaciones cuyos resultados enriquecen y brindan aportaciones teórico-prácticas al campo del conocimiento en materia agrícola en áreas desde ciencias básicas hasta ciencias económico-administrativas. El cúmulo de ellas son resultado del trabajo de compilación realizado por catedráticos e investigadores de la Universidad Autónoma Chapingo a través del Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la División de Ciencias Económico-Administrativas (DICEA).

La trascendencia de los resultados se basa en los diferentes criterios metodológicos utilizados, las diversas áreas de conocimiento, en la línea de Movilidad de los Factores de la Producción; y los enfoques multidisciplinarios. Asimismo, lo es la participación de instituciones con prestigio académico y de investigación como el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma del estado de México, la Universidad Nacional Autónoma de México, entre otras, que enriquecen el contenido.

Sistemas de Producción y Cultivos Agrícolas en México

Sistemas de Producción y Cultivos Agrícolas en México



Francisco Pérez Soto | Esther Figueroa Hernández
Lucila Godínez Montoya | Rosa María García Núñez
Jaime Rocha Quiroz
Compilación

Sistemas de Producción y Cultivos Agrícolas en México

*Francisco Pérez Soto
Esther Figueroa Hernández
Lucila Godínez Montoya
Rosa María García Núñez
Jaime Rocha Quiroz
(Compilación)*

Sistemas de Producción y Cultivos Agrícolas en México

ASOCIACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA A.C.

ÍNDICE

Sistemas de Producción y Cultivos Agrícolas en México

HIDRATACIÓN DE MATRICES GRANULARES ESFÉRICAS DE TIERRA DIATOMITA ADICIONADA CON CAL PARA ALOJAR NEMÁTODOS ENTOMOPATÓGENOS <i>Laura Virginia Bustamante Espinosa, Pedro Montes García, Araceli Castañeda Ovando; Judith Callejas Hernández, Marco Aurelio Nava Licona</i>	9
MODELO DE ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL FRIJOL CON BASE A SUS COMPONENTES FISIOLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS <i>José Alberto Salvador Escalante Estrada, María Teresa Rodríguez González, Yolanda Isabel Escalante Estrada</i>	23
OPTIMIZACIÓN DE AGUA DE RIEGO EN ALFALFA (<i>Medicago sativa</i> L.) UTILIZANDO SENSORES DE HUMEDAD EN EL SUELO <i>Gustavo Espinoza García, Miguel Servín Palestina, Carlos Alberto Olvera Olvera, José Ismael de la Rosa Vargas, Martín García Bandala, Mireya Moreno Lucio</i>	31
CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE ESPECIES DEL GÉNERO AGAVE, MEDIANTE SSR E ISTR, DE LA COLECCIÓN NACIONAL DE AGAVES UG-SAGARPA <i>Lisset Herrera Isidrón, Angélica Nieto González, Miriam Isidrón Pérez, Graciela María Luz Ruiz Aguilar, Julio Pérez Guzmán, María del Rosario Abraham Juárez, Vicente Javier Villafaña, Héctor Gordon Núñez Palenius</i>	42

Primera edición en español 2018

ISBN: 978-607-98112-5-9

D.R. © Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIIA, A.C.)

Editado en México

D.R. © Ilustraciones de portada y contraportada: Felipe Camacho García

Para la reproducción total o parcial de esta publicación, por cualquier medio, requiere la autorización por escrito del autor de la ASMIIA, A.C.

<i>PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA PLANTA DE HIGUERILLA RELACIONADAS CON EL DISEÑO DE COSECHADORAS</i> <i>José Humberto López Díaz, Eric Rafael Suárez Gaona, Efrén Fitz Rodríguez, Ramón Jiménez Regalado</i>	54
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES SINTÉTICAS DE MAÍZ PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO <i>Sierra Macías Mauro, Rodríguez Montalvo Flavio, Andrés Meza Pablo, Gómez Montiel Noel, Espinosa Calderón Alejandro, Tadeo Robledo Margarita, Barrón Freyre Sabel</i>	67
INJERTO EN PIMIENTO MORRÓN: EFECTO DE LA SALINIDAD EN LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS <i>Blanca Estela Orozco-Alcalá, Héctor Gordon Núñez-Palenius, Luis Pérez-Moreno, Mauricio Valencia-Posadas, Libia Iris Trejo-Téllez, Fidel René Díaz-Serrano, Oscar Alejandro Martínez-Jaime, María del Rosario Abraham-Juárez</i>	80
FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN MANGO: CALIDAD Y MACRONUTRIENTES EN FRUTOS <i>Nain Peralta-Antonio, Andrés Rebolledo-Martínez, Alberto Enrique Becerril-Román, David Jaén-Contreras, Marco Antonio Toral-Juárez</i>	93
ENRAIZAMIENTO IN VITRO DE ARÁNDANO (<i>Vaccinium SP.</i>) VAR. BILOXI <i>María del Carmen Rocha-Granados, José López-Medina</i>	109
EFICIENCIA DE REGENERACIÓN DE TRES SELECCIONES DE FRESA (FRAGARIA X ANANASSA DUCH.) <i>Blanca Rojas Sánchez, Patricio Apáez Barrios, José López Medina, María del Carmen Rocha Granados</i>	121
PRODUCCIÓN DE LECHUGAS EN HIDROPONÍA CON SISTEMA DE SOLUCIÓN ESTÁTICA Y AIREACIÓN CAPILAR, DESDE UN ENFOQUE DE HORTICULTURA URBANA <i>Marco Antonio Toral Juárez, Nain Peralta Antonio, Maurilio Mendoza Mexicano</i>	132

Presentación

El desarrollo agrícola es un aspecto fundamental y prioritario en la agenda pública de cualquier gobierno que busque un crecimiento regional en zonas rurales. Las investigaciones en Ciencia Básica y Aplicada que se desarrollan bajo esta línea temática brindan elementos y resultados valiosos para lograr un crecimiento, desarrollo y la sustentabilidad del campo mexicano. Preocupados por estos aspectos, Catedráticos e Investigadores de la Universidad Autónoma Chapingo a través del Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA), han desarrollado el presente libro que expone investigaciones cuyos resultados enriquecen y brindan aportaciones teórico-prácticas al campo del conocimiento en materia agrícola.

Los editores de esta obra agradecemos ampliamente a todos los Investigadores participantes así como a las Instituciones que apoyaron el desarrollo de la misma. De forma específica expresamos nuestro agradecimiento a la Rectoría de la Universidad Autónoma Chapingo, a sus Direcciones Generales, particularmente a la Dirección General de Investigación y Posgrado así como al Departamento de Preparatoria Agrícola. Igualmente manifestamos nuestro agradecimiento al Colegio de Posgraduados, a la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El presente volumen contiene 11 capítulos arbitrados que se ocupan de asuntos sobre Sistemas de Producción y Cultivo.

Bustamante-Espinosa y colaboradores inician la obra con un estudio sobre la hidratación de matrices granulares esféricas de tierra diatomita adicionada con cal para

alojar nemátodos entomopatógenos. Escalante-Estrada, Rodríguez-González y Escalante-Estrada proponen un modelo de estimación del rendimiento del frijol con base a sus componentes fisiológicos y morfológicos. Por su parte Espinoza-García y colaboradores reportan la optimización de agua de riego en alfalfa (*Medicago Sativa* L.) utilizando sensores de humedad en el suelo. Herrera-Isidró y colaboradores presentan una caracterización molecular de especies del género *Agave*, mediante SSR e ISTR, de la Colección Nacional de *Agaves* UG-SAGARPA. López-Díaz, Suárez-Gaona, Fitz-Rodríguez y Jiménez-Regalado analizan las propiedades físico-mecánicas de la planta de higuera relacionadas con el diseño de cosechadoras. Macías, Rodríguez, Andrés, Gómez, Espinosa, Tadeo y Barrón discuten el comportamiento agronómico de variedades sintéticas de maíz para el trópico húmedo de México. Orosco-Alcalá y colaboradores examinan el efecto de la salinidad en las características morfológicas mediante un injerto en pimiento morrón. Peralta-Antonio y colaboradores analizan la calidad y macronutrientes al experimentar en la fertilización orgánica en mango. Rocha-Granados y López-Medina analizan el enraizamiento in vitro de arándano (*Vaccinium* sp.) var. Biloxi. Rojas-Sánchez, Apáez-Barrios, López-Medina y Rocha-Granados reportan la eficiencia de regeneración de tres selecciones de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) y finalmente Toral-Juárez, Peralta-Antonio y Mendoza-Mexicano cierran la obra con su trabajo sobre la producción de lechugas en hidroponía con sistema de solución estática y aireación capilar, desde un enfoque de horticultura urbana.

Fraternalmente
Francisco Pérez Soto

Laura Virginia Bustamante Espinosa, Pedro Montes García, Araceli Castañeda Ovando; Judith Callejas Hernández, Marco Aurelio Nava Licona

HIDRATACIÓN DE MATRICES GRANULARES ESFÉRICAS DE TIERRA DIATOMITA ADICIONADA CON CAL PARA ALOJAR NEMÁTODOS ENTOMOPATÓGENOS

ABSTRACT

In integrated pest management an ecological alternative is the use of biopesticides. An economic formulation of biopesticides is based on granular matrices containing entomopathogenic nematodes (NEP). The hydration of the granular matrix (MG) must be slow to remove the anhydrobiotic state to the NEP. Therefore, in this research the effect of the addition of 6, 8 and 10% of lime for a slow hydration using Diatomite earth as a base material was studied in 3 maturation ages 3, 12 and 21 days. It was found that there is a gradual increase of hydration by increasing the maturation age, so that the addition of lime is effective for increasing the hydration time of the MG, without negatively modifying the properties of the soil.

Keys words: Biopesticides, Anhydrobiotic, Diatomite, Hidatation capilar

¹ Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Programa Educativo Ingeniería Civil. Tepatepec, Hidalgo, México. lbustamante@upfim.edu.mx

² Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Oaxaca, México. pmontes@ipn.mx

³ Profesora Investigadora del Área Académica de Química de la UAEH, Miembro del Cuerpo Académico de Propiedades y Funcionalidad de Alimentos. ovandoa@uah.edu.mx

⁴ Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Programa Educativo Ingeniería en Agrotecnología. Tepatepec, Hidalgo, México. jcallejas@upfim.edu.mx; mnava@upfim.edu.mx

INTRODUCCIÓN

En el manejo integrado de plagas una alternativa ecológica es el uso de bioplaguicidas. Una formulación económica de los bioplaguicidas es a base de matrices granulares que protegen núcleos, los cuales contienen nematodos entomopatógenos. Los nematodos en el interior de formulación de cadáveres cubiertos con caolín-almidón pueden sobrevivir en un estado de latencia por un periodo aproximado de 8 días (Ansari, 2009); sin embargo, cuando la matriz granular sufre algún tipo de deterioro ya no puede proteger a los nematodos, y estos mueren reduciendo la efectividad del bioplaguicida.

Uno de los materiales más utilizados para la elaboración de matrices granulares es la tierra diatomita (D); no obstante, se ha observado la desintegración de las matrices granulares (MG) ocasionada por su manipulación y transporte.

La resistencia de las matrices granulares puede mejorarse mediante la compactación mecánica (Mendoza, 2012), la aplicación de recubrimientos superficiales (Cruz- Martínez, 2013) y la estabilización química con el uso de aditivos (Alavez-Rámirez, 2013). Por supuesto, los aditivos incorporados a las matrices granulares deben ser inocuos, es decir, no deben afectar los nutrientes del suelo o modificar sus características, por ejemplo el pH.

Para poder garantizar la emergencia de los nemátodos entomopatógenos de la matriz granular, la hidratación deberá ser lenta (Shapiro, 2016), para la reactivación de las funciones vitales de los nemátodos. La hidratación con aceite se da al contener moléculas hidrófilas con capacidad oclusiva (Coddina, 2004; Esquivel-Ramírez, 2014). El contenido de agua en un aceite produce la hidrólisis de los triglicéridos, reacciona con las uniones entre el glicerol y los ácidos grasos y los rompe, produciendo ácidos grasos libres, mono y diglicéridos y/o glicerol. La hidrólisis es mayor a altas temperaturas (mayor a 100 °C) y presiones (mayor a 30 atm). Durante la trans-esterificación, la presencia de agua puede causar la saponificación de los ésteres y consumir el catalizador, reduciendo su eficiencia (NMX-F-211-1987).

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue estudiar la influencia de la hidratación y penetración de un fluido de una matriz granular de D, en las siguientes adiciones de 6, 8 y 10% de cal,

2. METODOLOGÍA

Con el objeto de evaluar la influencia de adiciones en el proceso de hidratación de una MG para alojar nematodos entomopatógenos (NEP) se realizó la prueba de absorción. Primeramente se diseñaron mezclas de materiales y se caracterizaron los materiales. Posteriormente, se elaboraron las matrices granulares y se caracterizaron mediante la prueba de absorción capilar.

Las diferentes fases de la investigación se desarrollaron en las siguientes Instituciones: En el Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-Oaxaca-IPN). Se llevó a cabo la producción de las MG y evaluación; en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), se realizaron las pruebas de caracterización de los materiales (Diatomita (D), cal (C)) con las siguientes técnicas; Difracción de rayos X (DRX), Difracción de rayos laser (DRL), Espectroscopia con infrarrojo por la transformada de Fourier, área superficial por el método de BET y microscopia electrónica de barrido (MEB), y en el Servicio Geológico Mexicano (SGM), Unidad experimental Oaxaca, se realizó el análisis químico cuantitativo de D y C.

2.1 DISEÑO DE MEZCLAS

En esta fase se llevó a cabo el diseño experimental de las MG para su evaluación y caracterización. Se desarrolló un experimento mostrado en la Tabla 1. Las mezclas consistieron en tierra diatomita como material base (100D:00), tierra diatomita con la adición de 6% (94D:6C), 8% (92D:8C) y 10% (90D:10C) de cal. La variable respuesta fue la absorción capilar de las MG.

Para el diseño experimental es importante mencionar que algunos factores que intervienen a lo largo de la prueba no se pueden controlar como son la temperatura, humedad relativa y ventilación en el área de encapsulamiento de NEP por lo que el efecto que puedan tener esta sobre la variable respuesta se desconoce.

Tabla 1.1 Diseño experimental de la estabilización de la matriz granular

Factor	Niveles	Descripción	Replicas	Respuesta
Tipo de mezcla	4	100D : 00 94D : 6C 92D : 8C 90D : 10C	6	Absorción capilar
Edad de maduración	3	3, 12 y 21 días		

La variable de tipo de mezcla se establece tomando como referencia investigaciones previas en la elaboración de pellets (Connick, 1994; Silver, 1996). Para la elección del aditivo cal se hicieron pruebas previas en el suelo de Santiago Nundiche, Oaxaca, el cual no debe exceder un 10% para no alterar la fertilidad del suelo (NOM-SEMARNAT-2000).

En cuanto a la variable edad de maduración se consideraron 3 niveles 3, 12 y 21 días. A los tres días porque la literatura consultada menciona que a las 48 horas comienza el estado anhidro biótico de los NEP, originando cambios químicos que reducen

la actividad y su tasa de consumo de oxígeno (Bedding, 1994), Para 12 y 21 días Serwe-Rodríguez et al (2004) investigaron que los nematodos tienen un 47% de supervivencia efectiva (Grewal, 2002) en la formulación de cadáveres. Para matrices granulares en condiciones ambientales en la literatura revisada no se reportan porcentajes de supervivencia.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES: TIERRA DIATOMITA (D) Y CAL (C)

2.2.1 Materiales

En la elaboración de pellets se utilizó tierra diatomita (D) marca Celite® y cal hidráulica comercial. Para la elaboración del núcleo se utilizó agua des-ionizada.

2.2.2 Composición química

La composición química de los materiales se determinó utilizando Emisión Atómica con fuente de plasma acoplado inductivamente (ICP), Espectrómetro de emisión óptica marca Perkin Elmer, modelo óptima 8300.

2.2.3 Difracción de rayos X

La identificación de las fases mineralógicas para la amorfocidad o cristalinidad de los materiales se obtuvo mediante un difractómetro marca INEL, modelo EQUINOX 200, el cual se operó con los siguientes parámetros Radiación Co_{ka1} , detector curvo 110, voltaje 220V, intensidad 20mA, velocidad de barrido 10 min, resolución 0.095FWHM y tamaño de paso 0.0315008.

2.2.4 Espectrometría Infrarroja con la Transformada de Fourier (FTIR)

Las bandas de los grupos funcionales que componen cada uno de los materiales se obtuvieron en un Espectrómetro Frontier, marca Perkin Elmer.

2.2.5 Tamaño de partícula, Difracción de rayos laser (DRL)

Se empleó el equipo LS13320 con las siguientes especificaciones de trabajo: potencia de trabajo 5mW, longitud de onda 750nm, lámpara PIDS de Tugsteno-halógeno e índices eléctricos 6V, 1.7A y 10W.

2.2.6 Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Para la morfología de los materiales se empleó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL6300, modelo JSM, con un alcance de 300 000 ampliaciones, tamaño de paso de 10^{-2} a 10^{-5} amp y una resolución de 20KeV.

2.3 Proceso de elaboración de las MG

En esta fase se elaboran las MG del testigo y las 3 mezclas propuestas para la prueba de evaluación. Primeramente se formó un núcleo en un cono truncado cuyo principio de funcionamiento es como el de los silos con una caída de lecho fluidizado. El cono se llenó

con material granular ($5.726 \times 10^{-6} m^3$ aproximadamente), posteriormente se adicionaron con una pipeta 200 μ l de agua desionizada; se retiró la base del cono y por gravedad se obtienen núcleos, que posteriormente se someten a crecimiento y consolidación de las MG, para ello se introdujeron en un disco provisto de una espiral de Arquímedes con los siguientes parámetros de trabajo: 12rpm y un ángulo de inclinación de 27° (Figura 1). La estabilización mecánica de las MG se basa en el principio reportado por Mendoza (2012); Matadamas-Ortíz, et al (2014).

Figura1. Pellets utilizados en la presente investigación



Una vez que se obtienen las matrices granulares se evaluó la absorción capilar. La técnica que se empleó en la caracterización de las matrices granulares se describe a continuación.

2.4 Método de absorción capilar

Las matrices granulares se colocan en una base y se sumergen en aceite de linaza (Fig. 2) quedando el nivel de aceite 2mm por encima de la base. Durante el ensayo se hacen mediciones de peso en los siguientes intervalos de tiempo: 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 600, 900, 1200, 1800, 2100, 2400, 2700 y 3600 segundos para llenar esencialmente los poros. Utilizando los valores de masa es posible calcular la absorción de acuerdo a una adaptación de la norma ASTM C 1585-04 para materiales cementantes.

Figura 2. Pellets utilizados en la prueba de absorción capilar



3. RESULTADOS

3.1 Composición química

En la Tabla 2 se muestran las composiciones químicas de los materiales en donde se observa que la D tiene un alto contenido de SiO_2 , y que la suma de los siguientes tres compuestos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, es mayor que 70%. De acuerdo con la norma ASTM C618-12A, la D tiene un alto potencial puzolánico y puede reaccionar con el Ca(OH)_2 .

Tabla 2 Composición química de D y C

Compuesto	ASTM C618 12 ^a			Material	
	N	F	C	Diatomita	Cal
SiO_2				83.95	0.28
Al_2O_3				3.11	<0.03
Na_2O				<0.03	<0.03
MgO				<0.005	0.40
K_2O				0.12	<0.09
CaO				0.34	72.76
Fe_2O_3				1.62	<0.10
FeO				<0.01	<0.01
P_2O_5				<0.06	<0.06
PxC	10	6	6	11.13	26.32
$\Sigma \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	70	50	88.68	--

3.2 Difracción de rayos X

En la Figura 3 se muestran los difractogramas de los materiales utilizados en este estudio, y en la Tabla 3 un resumen de las especies mineralógicas encontradas. Los difractogramas confirman que la diatomita contiene sílice en su fase mineralógica de ortoclasa y cuarzo (Li, 2014; Sun, 2013), mientras que la ceniza de bagazo de caña evidencia la presencia de cuarzo y cristobalita (Martirena, 1998), y calcita y magnetita (Subramanian, 2013). La sílice en estado amorfo es capaz de reaccionar químicamente con los iones de calcio en la cal, formando compuestos cementantes que estabilizan la matriz granular.

Figura 3. Difractogramas de los materiales D y C

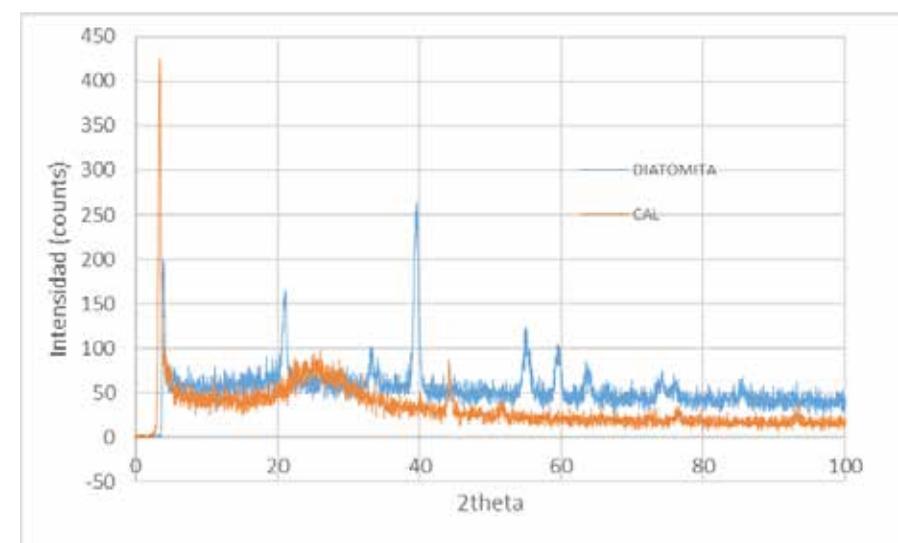


Tabla 3 Especies mineralógicas de D y C

Especies minerales identificadas	Fórmula
Diatomita	
Cuarzo	SiO_2
Ortoclasa	$\text{K(AlSi}_3\text{)O}_8$
Cal	
Portlandita	Ca(OH)_2
Carbonato de Calcio	CaCO_3

3.3 Espectrometría Infrarroja con la Transformada de Fourier (FTIR)

Los picos observados en cada uno de ellos se muestran en la Figura 4.2 y un resumen de su ubicación en la Tabla 4. Para la diatomita, las bandas características de silicato se observaron entre 1400 y 400 cm^{-1} ; una banda de Si-O-Si, en el plano de vibración estiramiento asimétrico (Oladoja, 2014), apareció en 1071 cm^{-1} . El pico del grupo OH de agua adsorbida, unido a la molécula de sílice, se observó en 3638 cm^{-1} , mientras que el pico de la vibración de unión de la molécula de agua atrapada en la matriz de sílice se observó en 1.640 cm^{-1} . La banda característica de óxido de aluminio se observó entre 1000 y 500 cm^{-1} , con una banda de vibración de estiramiento de Si-O-Al en 796 y 690 cm^{-1} , (Bariana, 2013; Oladoja, 2014).

En cuanto a la cal la banda a 36420 cm^{-1} se atribuye a las vibraciones de estiramiento OH de los grupos hidroxilo de la superficie interior (Madejovay Komadel, 2001; Eisazadeha, 2012). Las bandas de características a 725 y 1400 cm^{-1} se asocian con la absorción de la vibración de la calcita, que es la fase cristalina principal en los ligantes (Zhao, 2015).

Figura 4. Espectro de FTIR de D y C

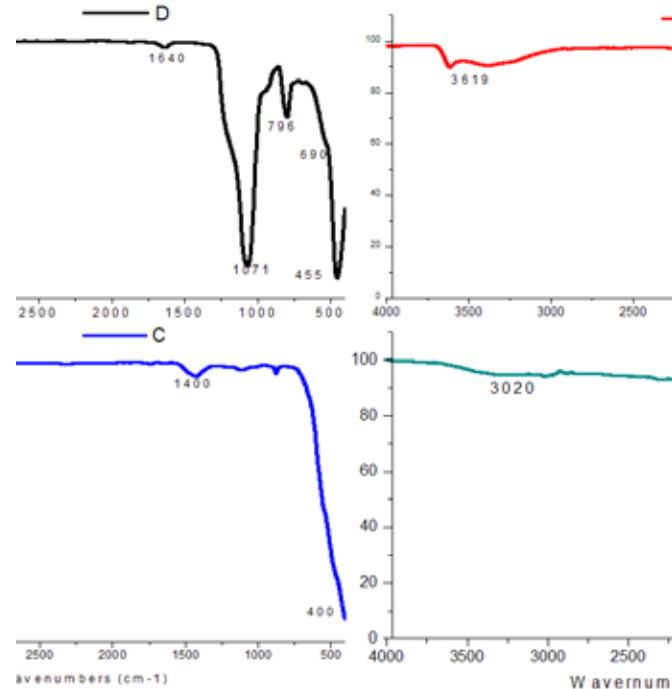


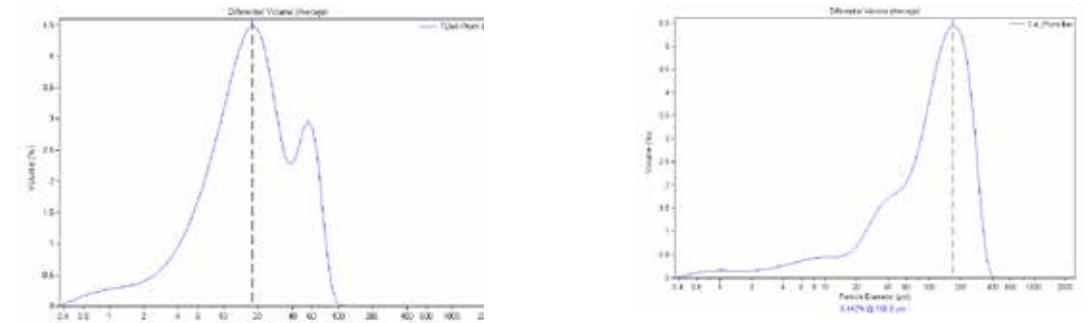
Tabla 4 Ubicación de los picos característicos de FTIR de los materiales utilizados

Longitud de onda	Grupo funcional	Tipo de vibración
<i>Diatomita</i>		
3100-3700	OH	Estiramiento
1071	Si-O-Si	Estiramiento asimétrico
796	Al-O-Si	Estiramiento
690	Al-O-Si	Estiramiento
455	O-Si-O	Estiramiento simétrico
<i>Cal</i>		
3642	OH	Estiramiento
1400-725	CaCO ₃	Estiramiento

3.4 Tamaño de partícula, Difracción de rayos laser (DRL)

La determinación del tamaño de partícula en un material es importante puesto que existe una relación directa entre su tamaño y su reacción puzolánica. En la Figura 5 se muestran las curvas de distribución volumétrica del tamaño de partículas para los materiales en estudio. Se observa que la D tienen entre un 30% de partículas de 45 μm de tamaño lo que podría favorecer la reacción puzolánica (Cordeiro, 2009). La cal que es el activador tiene una moda de 168.9 μm de tamaño de partícula.

Figura 5. Distribución de tamaños de partículas para D y C



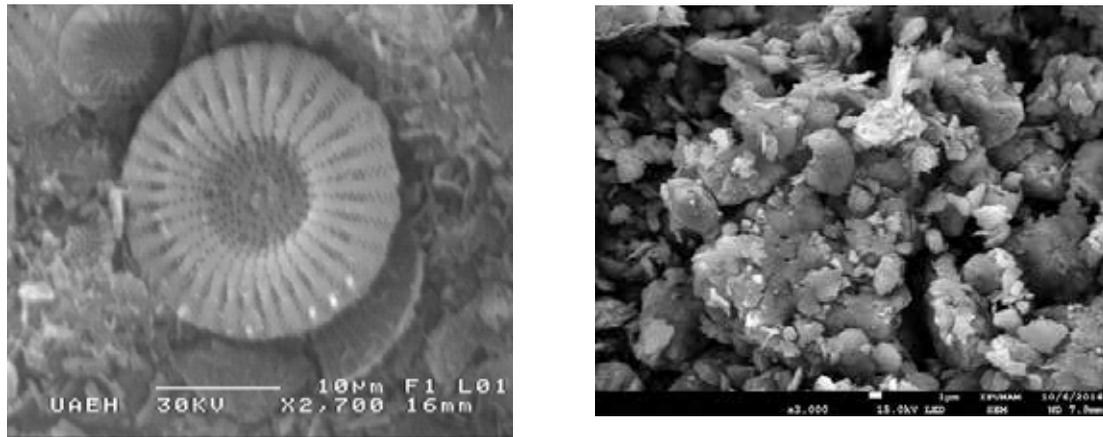
En la Figura 4.4 se muestran las imágenes de MEB de los materiales analizados. Se observa el carácter heterogéneo de los materiales puesto que se observan las partículas de diversos tamaños y formas en todas las imágenes de baja magnificación. Para el caso de la diatomita se observan claramente las diatomeas *Coscinodisophyceae* (simetría radial) y *Fragilariophyceae* (simetría bilateral, esternón o pseudolateral) con los poros abiertos que le dan capacidad para atrapar sólidos (Sun, 2013).

3.5 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

En la Figura 6 se muestran las imágenes de MEB de los materiales analizados. Se observa el carácter heterogéneo de los materiales puesto que se observan las partículas de diversos tamaños y formas en todas las imágenes de baja magnificación. Para el caso de la diatomita se observan claramente las diatomeas *Coscinodisophyceae* (simetría radial) y *Fragilariophyceae* (simetría bilateral, esternón o pseudolateral) con los poros abiertos que le dan capacidad para atrapar sólidos (Sun, 2013).

En la cal se pueden ver los cristales de hidróxido de calcio que pueden estar solos o conformando pequeños aglomerados esféricos.

Figura 6. Micrografías de D y C



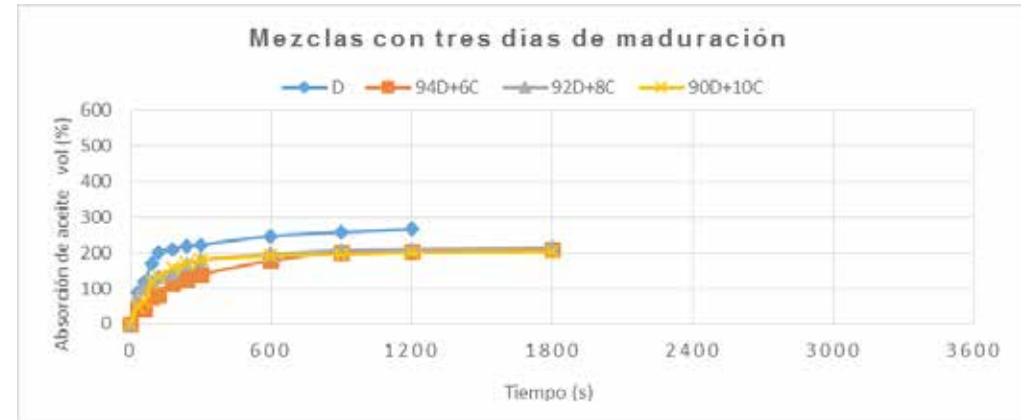
a) Micrografía de la D a 2700x

b) Micrografía de la C a 3000x

3.6 Absorción capilar

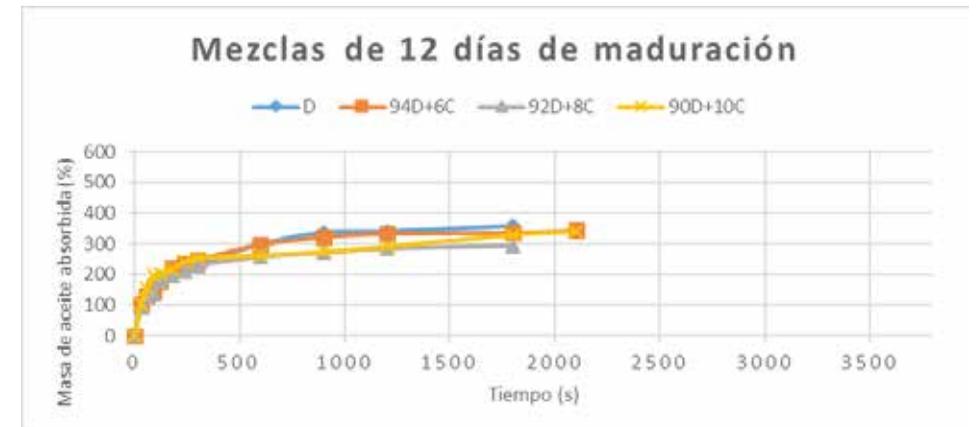
Los resultados de la prueba a tres días de maduración se muestran en la Figura 7. Las gráficas indican que la adición de C disminuye la velocidad de absorción de aceite de las MGs que la contienen. Las mezclas de 94D+6C, 92D+8C y 90D+10C presentaron una disminución en la capacidad de absorción del 24% con respecto a la D. Lo anterior indica que las MGs de D son muy porosas (Inchaurredo, et al. 2016) y permeables, por ello la saturación de éstas se alcanzó a los 1200 segundos.

Figura 7 Absorción capilar de las MG a tres días de maduración



Los resultados de la absorción por capilaridad de las MGs en el estudio obtenidos a 12 días de maduración se muestran en la Figura 8. La capacidad de absorción de las mezclas de D, 94D+6C y 90D+10C prácticamente fue la misma, difiriendo solamente la mezcla de 92D+8C con un 10% menos de capacidad de absorción con respecto a la de solamente D. Lo que es importante destacar es el tiempo de saturación que observaron las mezclas en esta etapa de maduración. La D y la mezcla de 92D+8C alcanzaron su tiempo de saturación a los 1800 segundos, mientras que las MGs elaboradas con 94D+6C, 90D+10C alcanzaron su nivel de saturación a los 2100 segundos.

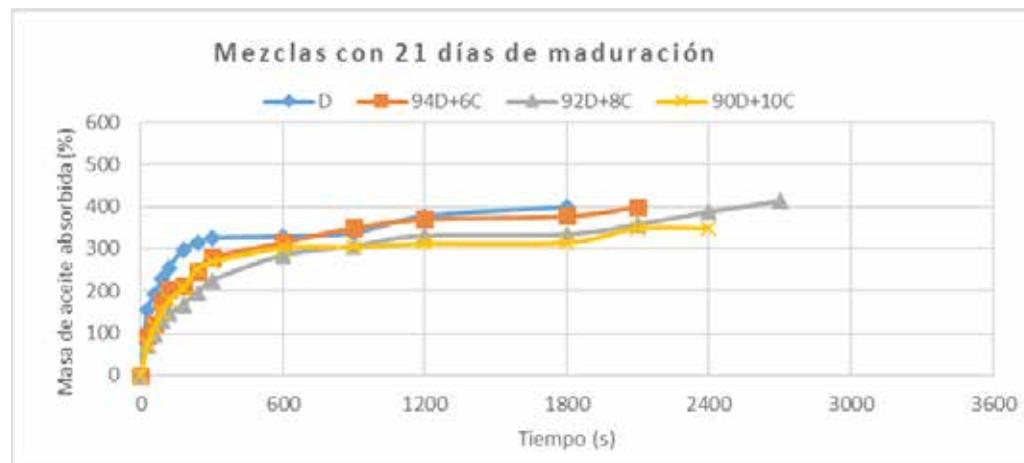
Figura 8 Absorción capilar de las MG a doce días de maduración



Los resultados de la prueba de absorción capilar obtenidos a 21 días de maduración se muestran en la Figura 9. Para esta edad las mezclas de D, de 94D+6C y de 92D+8C, presentaron una capacidad de absorción de aceite similar. La mezcla de 90D+10C y disminuyó su capacidad de absorción un 13% con respecto a las anteriormente mencionadas.

En cuanto al tiempo de saturación se presentaron diferencias importantes: la D se saturó a los 1800 segundos, la mezcla de 94D+6C alcanzó su saturación a los 2100 segundos, la mezcla de 90D+10C se saturó a los 2400 segundos, la mezcla de 92D+8C alcanzó su saturación a los 2700 segundos.

Figura 9 Absorción capilar de las MG a 21 días de maduración



CONCLUSIONES

La edad de maduración influye positivamente al disminuir la capacidad de absorción de las MGs elaboradas a base de D+C.

Existe una interacción entre el tipo de mezcla y la edad de maduración en los resultados de absorción obtenidos, es decir, su tendencia es a aumentar con la edad las MGs elaboradas con D, mientras que esta tendencia se cambia al incorporar aditivos,

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-Oaxaca-IPN), a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero.

LITERATURA CITADA

Alavéz-Ramírez, R. (2013). Desarrollo de un material compuesto a base de suelo compactado estabilizado con puzolanas. Tesis de doctorado. Instituto Tecnológico de Oaxaca. México.

Ansari, M.A., Hussain, M.A., Moens, M. (2009). Formulation and application of entomopathogenic nematode-infected cadavers for control of *Hoplia philanthus* in turfgrass. *Pest Management Science*. Apr;65(4):367-74. doi: 10.1002/ps.1699.

ASTM C 311-04 Standard Test methods for sampling and testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland Cement Concrete. ASTM International.

ASTM C 1585-04. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes

Bedding, R.A.; Butler, K.L. (1994): Methods for the storage of entomopathogenic nematodes. Int. Patent WO94/05150

Connick, W.J., Jr.; Nickle, W.R.; Williams, K.S.; Vinyard, B.T. (1994): Granular formulations of *Steinernema carpocapsae* (strain All) (Nematoda: Rhabditida) with improved shelf life. *J. Nematology*. 26: 352-359

Cruz, M. H. (2013). Efecto del recubrimiento del pellet en la supervivencia del nematodo entomopatógeno *Steinernema glaseri* encapsulado mecánicamente. Tesis de Maestría. IPNCIIDIR-Oaxaca. México.

Grewal, P.S. (2002). Formulation and application technology. In Gaugler, R. (Ed.), *Entomopathogenic Nematology* (pp. 265-288). CABI publishing: Wallingford, Oxfordshire, UK.

Mendoza, P. M. (2012). Efecto de la dureza del pellet en la mortalidad del nematodo entomopatógeno *Steinernema glaseri* encapsulado mecánicamente. Tesis de Maestría. IPN-CIIDIR-Oaxaca. México.

NOM-SEMARNAT-2000. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudio muestreo y análisis.

NMX-F-211-1987 Alimentos – Aceites y grasas vegetales o animales – Determinación de humedad y materia volátil. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de marzo de 1987

Serwe-Rodriguez J, Sonnenberg K, Appleman B, Bornstein-Forst S. (2004). Effects of host desiccation on development, survival, and infectivity of entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*. *Journal Invertebrate Pathology*. Mar;85(3):175-81.
Silver, S.C.; Dunlop, D.B.; Grove, D.I. (1996): Granular formulations of biological entities with improved storage stability. Patent WO 95/0577.

José Alberto Salvador Escalante Estrada¹, María Teresa Rodríguez González¹,
Yolanda Isabel Escalante Estrada²

MODELO DE ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL FRIJOL CON BASE A SUS COMPONENTES FISIOLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS

ABSTRACT

The objective of the study was to determine in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Michoacán 12A3 grown in warm climate in summer and autumn: a) the relation and contribution of the morphological and physiological components to the grain yield (GY); b) the economical model in time and cost that best estimates the GY according to its components. Biomass, GY, grain size, number of grains, pods and racemes, grains / pod and leaf area duration were recorded. Correlation, multiple regression and Stepwise analysis were applied. The results indicate that the number of grains, pods, biomass and leaf area duration are the major contributors to GY. Changes in the number of pods depend on the number of racemes; and in biomass of the leaf area duration. The most appropriate model to estimate the GY involves the number of grains and number of racemes.

Key words: Biomass, leaf area duration, number of grains, pods, racemes.

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es importante para México por sus propiedades nutricionales y medicinales, puesto que su consumo reduce el riesgo de enfermedades como algunos tipos de cáncer, diabetes tipo II y cardiovasculares (Bennink, 2005). En México, durante el año agrícola 2016 después del maíz, el frijol ocupó el segundo

¹ Postgrado en Botánica. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de Méx., México. 56230. jasee@colpos.mx, mate@colpos.mx; ²Instituto de Investigación Científica Área de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo Guerrero México. y_escalante@yahoo.com.mx

lugar de superficie sembrada con 1,635, 688 ha, siendo el 90% de régimen de lluvia (temporal) con un rendimiento medio de 0.534 ton ha⁻¹ y bajo riego de 1.749 ton ha⁻¹ (SIAP, 2016). El rendimiento en grano (RG) del frijol sobre todo el cultivado bajo régimen de lluvia, depende de los cambios en cantidad y distribución de la misma. Se han intentado metodologías o modelos que pueden ser una ecuación o conjunto de ecuaciones, para predecir la biomasa, el RG y que por lo general se basan en elementos del clima (Lobell *et al.*, 2007). Para frijol se han generado modelos de simulación del crecimiento y rendimiento (Moreau-Valancogne *et al.*, 2008), en algunos casos incluyen índices fisiológicos como el índice de área foliar (Báez-González *et al.*, 2005), y los componentes de rendimiento, los cuales son cuantitativos de la morfología de una planta y su comportamiento se refleja en el RG (Escalante y Kohashi, 2015). Sin embargo, queda pendiente el uso de manera conjunta de los componentes tanto fisiológicos como morfológicos para generar modelos que estimen el RG del frijol. Por lo general, los antecedentes mencionan la relación de cada componente con el RG, mediante un análisis de correlación, con resultados contrastantes. Amador-Ramírez *et al.* (2007), encontraron una correlación significativa entre el índice de área foliar, medido en la etapa de formación y llenado de vainas, con el RG en frijol de temporal. Singh (1995) reportó una baja correlación negativa entre el rendimiento y el peso individual de la semilla. Ramírez-Vallejo y Kelly (1998) señalan correlaciones inconsistentes entre componentes del rendimiento y el RG. Infante *et al.* (2003), encontraron correlación positiva entre el RG de frijol de temporal y sus componentes. Algunos estudios indican que el número de vainas y el número de granos presentan una alta correlación con el RG (Escalante *et al.*, 2013). En contraste, esto no ocurre con el número de granos por vaina o peso individual del grano (Shenkut y Brick, 2003). Sin embargo, para generar modelos con una mayor precisión para estimar el RG, se requiere involucrar los componentes formados durante el desarrollo del ciclo y conocer su grado de aportación al RG, lo que ayudaría a reducir el costo y tiempo del estudio. El objetivo del trabajo fue determinar en frijol Michoacán 12A3 cultivado en clima cálido: a) la relación y contribución de los componentes morfológicos y fisiológicos a los cambios en el rendimiento en grano; b) el modelo que estime en menor tiempo y costo el rendimiento en grano en función de sus componentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con datos provenientes de una serie de trabajos bajo tratamientos de fertilización química, orgánica, fechas y densidades de siembra realizados entre 2010-2012, durante el verano (régimen de lluvia) y el otoño (riego) con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Michoacán 12A3 de hábito indeterminado arbustivo tipo II, flor morada, semilla de color negro y un peso medio por semilla de 300 mg, sembrados a la densidad de población de 13.3 plantas m⁻² en surcos a 0.80m de separación, en Iguala Gro.,

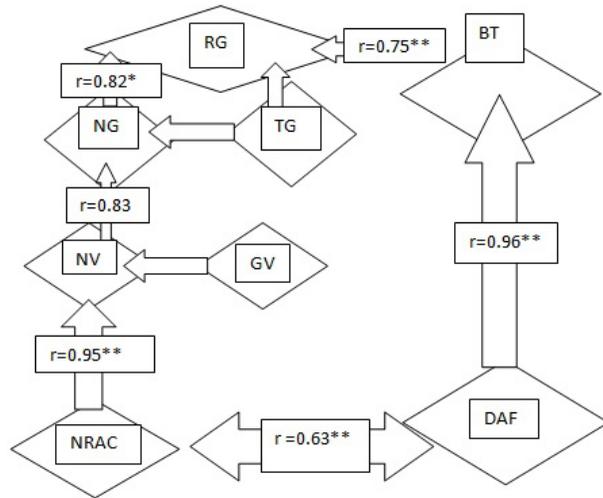
México (18° 14' N, 99° 39' O y una altitud de 746 m) de clima AW₀, que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 26.4°C, una media del mes más frío (diciembre) de 23.4 °C. La oscilación de temperatura de un mes a otro es de 5 a 7 °C. La precipitación promedio anual es de 1017 mm (García, 2005). El suelo es un vertisol, con pH de 8, conductividad eléctrica de 0.23 dS·m⁻¹, materia orgánica de 1.7 %, 0.1 % de N total y 14 ppm de fósforo. Las siembras de verano (régimen de lluvia), fueron entre el 28 de junio y 26 de julio. La emergencia ocurrió entre los 6 y 7 días después de la siembra (dds), el inicio de floración (IF) entre los 35 y 40 dds, el final de floración (FF) entre los 70 y 76 dds y la cosecha final a madurez fisiológica (MF) entre los 84 y 90 dds. Las siembras de invierno fueron entre el 17 de noviembre y 17 de diciembre, con 6 a 7 riegos con intervalo de 10 días. La emergencia ocurrió entre los 8 y 10 dds; IF a los 50 dds, FF 72 a 76 dds y cosecha final a los 100 dds. A la MF en 20 plantas por unidad experimental (tratamiento-repetición, UE) de cada experimento, se registró la biomasa (materia seca, gm⁻², BT), el rendimiento en grano (gm⁻², RG), el tamaño del grano (peso seco medio por grano en g, TG), el número de granos m⁻² (NG), número de vainas con grano m⁻² (NV), número de granos por vaina (GV), número de racimos m⁻² (NRAC), y la duración del área foliar (DAF) hasta los 72 días, tomando muestras de 10 plantas de cada UE cada 15 días, para registrar el área foliar mediante un integrador de área. La DAFT se calculó, mediante la ecuación presentada en Escalante y Kohashi (2015) de la manera siguiente: $DAFT = \Sigma (IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1) / 2$, donde: DAFT = duración del área foliar total, Σ = suma de la duración del área foliar de cada período estudiado, IAF_1 = índice de área foliar en un tiempo del área foliar inicial (T_1 , en días), IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final (T_2 , en días). Mediante el paquete SAS versión 9 (SAS, 2001) al conjunto de datos se le aplicó un análisis de correlación, un análisis de regresión múltiple entre el RG y sus componentes, además de un Stepwise para buscar el modelo que mejor estime el RG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se presenta la relación entre el RG, sus componentes y la BT. El RG y la BT mostraron un coeficiente de correlación (r) de 0.75** altamente significativo, lo que indica que para lograr un RG alto se requiere plantas de un mayor dosel y con mayor duración del área foliar (DAF) que presentó un r = 0.96** con la BT y un r = 0.78** con el RG. Asimismo, el RG presentó un r = 0.82** con el NG y éste de 0.83** con el NV. Respuestas similares han sido reportadas para éste cultivar bajo clima templado (Escalante *et al.*, 2013). Por otra parte, para incrementar el NV se requiere aumentar el NRAC, como lo muestra la alta relación (r = 0.97**) entre éstos componentes. Estos resultados destacan la importancia en buscar desde las primeras etapas de crecimiento del frijol, un mayor tamaño y duración de la maquinaria fotosintética, para lograr una mayor radiación interceptada generar mayor número de racimos, vainas con grano,

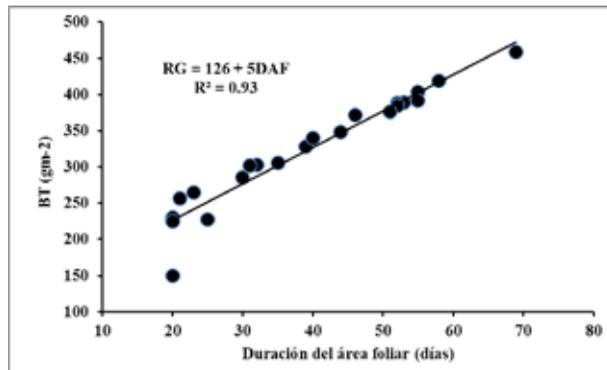
número de granos, un RG y BT más altos (Escalante *et al.*, 2016). La Figura 2 se indica que los cambios en BT dependen en 93% de cambios en la DAF.

Figura 1. Relación entre el rendimiento en grano (RG), número de granos (NG), tamaño de grano (TG), número de vainas (NV), granos por vaina (GV), número de racimos (NRAC), biomasa total (BT) y duración del área foliar (DAF) en frijol Michoacán 12A3 en clima cálido.



Por otra parte, el TG y GV presentaron una relación baja con el RG. Este comportamiento también fue encontrado en otros cultivares de frijol por Singh (1995), lo cual sugiere que estos componentes son los de mayor estabilidad ante cambios ambientales.

Figura 2. Relación entre la biomasa (materia seca gm-2, BT) y la duración del área foliar, días, DAF) hasta los 72 dds en frijol Michoacán 12A3. Iguala, Gro., México.



Modelo regresión múltiple

Al aplicar un modelo de regresión múltiple para conocer la contribución de cada componente a los cambios en RG, el modelo fue el siguiente:

$RG = 45.5 + 0.07NG + 353TG - 0.02VG - 20GV + 0.31NRAC + 0.50DAF + 0.04BT$; el coeficiente de determinación (R^2) es 0.98**, lo que indica que los cambios en el RG dependen en un 94% de cambios en todos los componentes estudiados y que se involucraron en el modelo. Asimismo, que el modelo puede ser útil para estimar el RG del frijol Michoacán 12A3 tanto en siembra de verano con régimen de lluvia y de otoño-primavera de riego.

Selección del modelo de estimación entre el rendimiento en grano y sus componentes mediante el procedimiento Stepwise

Para seleccionar el modelo que mejor estima el rendimiento en grano se recurrió al procedimiento Forward de Stepwise. En la tabla 1, se indica la variable ingresada, el modelo generado así como el coeficiente de determinación (R^2). Se observa que el modelo más apropiado es el que incluye a los componentes NG y NRAC por presentar un $R^2 = 0.96$ y menor número de variables, lo que reduce la inversión en tiempo y dinero en contabilizar las variables que alimenta el modelo.

Tabla 1. Selección del modelo de estimación del rendimiento en grano (RG) mediante el procedimiento Stepwise en frijol Michoacán 12A3. Iguala, Gro., México.

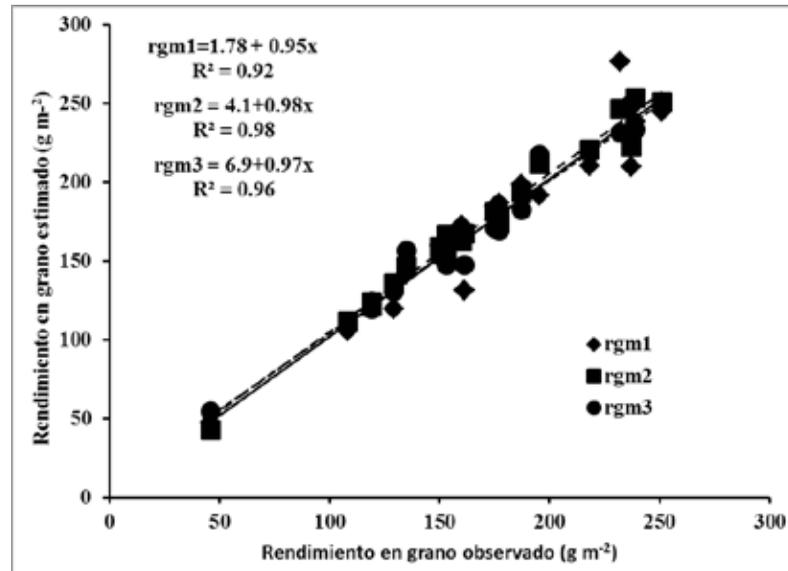
Componente que ingresa	Modelo	R ²
NRAC	$RG = 85 + 0.38 NRAC$	0.75
NG	$RG = 6.1 + 0.1 NG + 0.35NRAC$	0.96
BT	$RG = -8.8 + 0.08NG + 0.30NRAC + 0.13BT$	0.98
GV	$RG = 80 + 0.07NG - 19.8GV + 0.24NRAC + 0.18BT$	0.93
TG	$RG = 61 + 0.07NG + 320TG - 24GV + 0.28NRAC + 0.13BT$	0.93

La probabilidad de F en todos los casos fue de $P < 0.001$.

Relación rendimiento observado y estimado

En la Figura 3, se presenta la relación entre el rendimiento observado y el estimado con los modelos que presentaron el más alto coeficiente de determinación “R²” entre el RG y sus componentes. Cabe señalar que los modelos que presentaron más baja variación entre el RG observado y estimado fueron: $rgm2 = 45.5 + 0.07NG + 353TG - 0.02VG - 20GV + 0.31NRAC + 0.50DAF + 0.04BT$ y el $rgm3 = 6.1 + 0.1 NG + 0.35NRAC$. Esto indica ambos modelos pueden utilizarse para estimar el RG con una bajo error de estimación, como lo demuestra la menor dispersión de las observaciones, en relación a la recta en la Figura 3.

Figura 3. Relación entre el rendimiento en grano (RG) observado con el estimado mediante sus componentes en frijol Michoacán 12A3. Iguala, Guerrero, México. Modelos: $rgm1 = 8.8 + 0.08NG + 0.30NRAC + 0.13BT$; $rgm2 = 45.5 + 0.07NG + 353TG - 0.02VG - 20GV + 0.31NRAC + 0.50DAF + 0.04BT$; $rgm3 = 6.1 + 0.1 NG + 0.35NRAC$.



CONCLUSIONES

Para las condiciones en que se realizó el presente estudio, el número de granos, número de vainas, la biomasa y la duración del área foliar son los componentes de mayor contribución a los cambios en rendimiento en grano. Los cambios en el número de vainas dependen del número de racimos. La variabilidad en biomasa depende de la duración del área foliar. Por el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.96$) y menor inversión en tiempo y jornales, el modelo más apropiado para estimar el rendimiento en grano del frijol Michoacán 12A3 es el que involucró al número de granos y número de racimos.

LITERATURA CITADA

Amador-Ramírez, M. D.; Acosta-Díaz, E.; Medina-García, G. and Gutiérrez-Luna, R. (2007). An empirical model to predict yield of rainfed dry bean with multi-year data. *Rev. Fitotec. Mex.* 3:311-319.

Báez-González, A. D.; Kiniry, J. R.; Maas, S. J.; Tiscareño, L. M.; Macías, J. C. M.; Richardson, C. W.; Salinas, J. G. and Manjarrez, J. R. (2005). Large-area maize yield forecasting using leaf area index based yield model. *Agron. J.* 97:418-425.

Bennink M (2005). Eat beans for good health. *Annual Report of Bean Improvement Cooperative* 48:1-5.

Escalante-Estrada J.A.; Rodríguez González M.T.; Escalante Estrada Y.I. (2013). Aplicación dividida de nitrógeno, su efecto sobre la eficiencia agronómica, rendimiento y componentes en frijol. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 1:52-55.

Escalante-Estrada J.A.; Kohashi-Shibata J. (2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.

Escalante-Estrada J. A.; Rodríguez González M. T.; Escalante Estrada Y. I. (2016). Modelos empíricos que estiman la biomasa en función de la radiación interceptada y el índice de área foliar en girasol. pág. 53-58. En: D. Sepúlveda, F. Pérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar; L. Godínez (editores). *Matemáticas Aplicadas. Handbook*. ECORFAN, Texcoco de Mora, México.

García E. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª edición. UNAM. México, D.F. 217 p.

Infante, N.; Madriz, P. y González, T. (2003). Fases de desarrollo y componentes del rendimiento de tres cultivares de frijol mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] en Maracay, Aragua, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 20:417-429.

Lobell, D. B.; Ortiz-Monasterio, J. I. and Falcon, J. I. (2007). Yield uncertainty at the field scale evaluated with multi-year satellite data. *Agric. Syst.* 92:76-90.

Moreau-Valancogne, P.; Coste, F.; Crozat, Y. and Dürr, C. (2008). Assessing emergence of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed lots in France: field observations and simulations. *Europ. J. Agronomy.* 28:309-320.

Ramírez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica.* 99:127-136.

Shenkut, A. A. and Brick, M. A. 2003. Traits associated with dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) productivity under diverse soil moisture environments. *Euphytica.* 133:339-347.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). URL: <http://www.siap.gob.mx>.

Singh, P. S. (1995). Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Sci.* 35:118-124.

Statistical Analysis System (SAS Institute). (2001). SAS/STAT. User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.

Gustavo Espinoza García¹, Miguel Servín Palestina²,
Carlos Alberto Olvera Olvera³, José Ismael de la Rosa Vargas⁴,
Martín García Bandala⁵, Mireya Moreno Lucio⁶

OPTIMIZACIÓN DE AGUA DE RIEGO EN ALFALFA (*Medicago sativa* L.) UTILIZANDO SENSORES DE HUMEDAD EN EL SUELO

ABSTRACT

The goal of this study was evaluation of three soil moisture levels measured with electronic sensors in alfalfa crops (T1 = 5-15 cbar, T2 = 50-75 cbar and T3 90-110 cbar), previously calibrated for the study area. Variables such as dry matter yield (DM) and irrigation water productivity (PA) were valued. The values obtained were 6.65 6.35 at 5.27 t ha⁻¹ for DM and 2.67 4.02 at 3.87 kg m⁻³ for PA as a function of crop Evapotranspiration (ET_c) With values of 248.64, 157.96 and 136.30 mm for T1, T2 and T3 respectively. These results allow us to conclude that keeping the soil moisture tension at 50-75 cbar, i.e. 21% ± 2.3% of soil humidity, the highest water productivity in the crop can be reached.

¹ Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, Unidad Académica de ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", Av. Ramón López Velarde N° 801, Col. Centro, C.P. 98000, Zacatecas, Zac., México. gustavo.esga@hotmail.com

² INIFAP, Campo Experimental Zacatecas, Kilometro 24.5, Carretera Zacatecas-Fresnillo, C. P. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, Zac., México. servin.miguel@inifap.gob.mx

³ Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, Unidad Académica de ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", Av. Ramón López Velarde N° 801, Col. Centro, C.P. 98000, Zacatecas, Zac., México. colvera@uaz.edu.mx

⁴ Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, Unidad Académica de ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", Av. Ramón López Velarde N° 801, Col. Centro, C.P. 98000, Zacatecas, Zac., México. ismaelrv@yahoo.com

⁵ INIFAP, Campo Experimental Zacatecas, Kilometro 24.5, Carretera Zacatecas-Fresnillo, C. P. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, Zac., México. martin_garcia9107@yahoo.com.mx

⁶ Posgrado en Ingeniería y Tecnología Aplicada, Unidad Académica de ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", Av. Ramón López Velarde N° 801, Col. Centro, C.P. 98000, Zacatecas, Zac., México. miryz.moreno@gmail.com

Palabras clave: Evapotranspiración del cultivo, productividad de agua, funciones de respuesta.

1.- INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa L.*) es una leguminosa que se siembra en las zonas áridas y semiáridas del norte del país, es utilizada para la alimentación de rumiantes en la industria de carne y leche. En Zacatecas la alfalfa se posiciona como una de las cadenas agrícolas de mayor importancia económica del estado (Sánchez, Zegbe, Rumayor y Moctezuma, 2013), en los últimos años se mantuvieron en producción un promedio de 12,144.5 hectáreas y se obtuvo una producción aproximada de 23 mil 880.51 toneladas por año, (SIACOM, 2010-2015). Por ser un cultivo perenne su producción se lleva a cabo bajo condiciones de riego (Godoy, Torres, Reyes y Valdez, 1998). (Moreno, García y Faz, 2000, pp. 63-78) mencionan que el cultivo demanda 15, 000 m³ ha⁻¹ de agua de riego. Lo que representa una fuerte presión en los recursos hídricos que cada vez son más escasos y costosos (Castro, Aguilar, Quevedo, Kleisinger, Tijerina y Mejía, 2008) por ejemplo Zacatecas presenta abatimiento de los acuíferos a una tasa de 1.18 m por año provocando un desequilibrio en la recarga. A pesar que esta leguminosa fija nitrógeno al suelo y produce un forraje de excelente calidad muestra eficiencias en el uso de agua muy bajas comparadas con otras especies forrajeras (Hirth, Haines, Ridley y Wilson, 2001). Steduto, Hsiao, Fereres y Raes, (2012), en su estudio FAO riego y drenaje hacen referencia a Grimes, Wiley y Sheesley (1992) quienes han reportado valores de productividad con valores de 1.0 – 2.6 kg m⁻³ (kilogramos de materia seca por metro cubico de agua de riego aplicada) y a Brown, Moot y Pollock (2005) quienes reportaron valores de hasta 2.9 kg m⁻³. El potencial productivo de la alfalfa está en función de la interacción de factores climáticos como, genéticos y manejo según Lara y Jurado (2014), la cantidad de veces que la alfalfa se puede cosechar durante un año depende de las condiciones climáticas y el manejo (Teixeira, de Sosa, Valadares, Soares, Jorge y dos Santos, 2007), por ser un cultivo de alto requerimiento hídrico, los altos costos de extracción y la disponibilidad del agua de riego son factores limitantes para su producción en el estado Servín (2015). Por tal razón, se requiere de una aplicación del agua en el momento oportuno y la cantidad necesaria para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo y lograr un rendimiento óptimo como se menciona en Inzunza, Villa, Catalán y Mendoza (2006). Uno de los enfoques clásicos para llevar a cabo la optimización del agua consiste en analizar la respuesta del cultivo a diferentes grados de déficit hídrico; también, obtener las relaciones funcionales que permiten maximizar el rendimiento por unidad de agua utilizada, así como estimar la producción del cultivo

cuando este recurso es restringido (Reck y Overman, 1996), (Llewelyn y Featherstone, 1997) y (Reca, Roldan, Alcaide, López y Camacho, 2001). Actualmente no se conocen con precisión dichos requerimientos y el manejo de riego se realiza de manera empírica, lo que implica que en ocasiones se proporcionen volúmenes excesivos, o laminas deficientes, propiciando bajo rendimiento de materia seca (Sammis, 1981) y (Abdul, Sammis y Lugg, 1982) esto genera la necesidad de evaluar sistemas más eficientes en el uso de agua Méndez (2016), además lo que es aún más complejo hacer ajustes mediante optimización de riego a nivel parcelario para tener el mínimo gasto de agua con la mayor producción posible, el objetivo de este trabajo fue generar un modelo que relacione el rendimiento de materia seca de alfalfa en función de la lámina aplicada con manejo de riego mediante sensores de humedad y de esa manera determinar el rendimiento potencia y óptimo e incrementar la productividad del agua de riego en Zacatecas. Para cumplir dicho objetivo se estableció una parcela experimental de alfalfa donde se evaluaron tres niveles de humedad donde la programación de riego se realizó con sensores de humedad Watermark® de igual manera se tomaron variables físicas y rendimiento de materia seca posteriormente se realizó un análisis de varianza y la función de respuesta del cultivo se obtuvo mediante análisis de regresión, al relacionar los datos observados de MS (t ha⁻¹) y PA (kg m⁻³) como variables dependientes y ET_c (mm) como variable independiente, en SAS con el procedimiento Stepwise. Para obtener la lámina de riego que maximiza el rendimiento de forraje seco de alfalfa (ET_{c-max}) y la lámina de riego que presenta el valor más alto de productividad de agua y rendimiento óptimo (ET_{c-opt}), se realizó un análisis de optimización (Steel, Torrie y Dickey 1997). De acuerdo con los resultados obtenidos se observó diferencia significativa para MS y PA donde sobre salió T1 y T2 para cada variable respectivamente y al relacionar dichas variables con ET_c se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.49 y 0.78 para cada una de las variables. y se permite deducir que la alfalfa maximiza biológicamente su producción de forraje a 7.34 t ha⁻¹ (MS_{max}), cuando consume ET_{c-max} = 207.518 mm y el valor máximo de productividad del agua de 4.045 kg m⁻³, se obtiene cuando consume ET_{c-opt} = 165.94 mm presentando un rendimiento óptimo de 6.643 t ha⁻¹ (MS_{opt}).

2. METODOLOGÍA

El trabajo se llevó a cabo en terrenos del Campo Experimental Zacatecas (CEZAC), ubicado a 22° 54' LN y 102° 39' LO y una altitud media de 2,197 msnm. La temperatura media anual es de 14.6 °C, con acumulación promedio de frío de noviembre a febrero de ~ 600 unidades frío (UF). La precipitación media anual es de 416 mm, de los cuales el 75 % ocurre durante el verano (junio a septiembre) y el resto durante el invierno. La

evaporación media anual es de 1,609 mm (Medina y Ruíz, (2004, p. 40). La precipitación (Pp) del corte a corte del cultivo fue nula dado que no hubo lluvia en este periodo para evapotranspiración potencial (ET_p) durante la misma etapa 42 días fue 300.5 mm; en cuanto al promedio de las temperaturas para la estación de crecimiento fue de 29.6 y 2.3 °C para la T_{max} y T_{min} respectivamente. Para caracterizar el suelo del lote experimental, se hizo un muestreo a dos profundidades (0-30 y 30-60 cm) y se obtuvieron los siguientes resultados: Textura franco arcilloso con un pH de 7.9, contenido de materia orgánica de 2.0%, densidad aparente (D_a) de 1.42 g cm⁻³, capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) de 30.62 y 15.04% respectivamente, para 0-30 cm y 34.63 y 15.02% para 30-60 cm. de profundidad de suelo.

La alfalfa se sembró el 26 de noviembre del 2015 con la variedad CUF 101 con una densidad de siembra de 60 kg ha⁻¹ usando sembradora tipo brillion, estableciendo parcelas de validación, para el presente año los tratamientos establecidos son tres niveles de tensión en el suelo medidos mediante el uso de sensores de humedad marca Watermark® previamente calibrados para la zona de estudio, colocados a 30 y 60 cm de profundidad por triplicado en cada parcela y un total de seis sensores por parcela experimental. T1 = de 5-15, T2=50-75 y T3=90-110 Cbar de lectura del sensor. El riego se aplica cuando el sensor colocado a 30 cm. llega a su límite máximo y se recupera la humedad hasta su límite más bajo para cada tratamiento. El agua se aplica con un sistema de riego sub-superficial con cintilla auto-compensada calibre 8 mil enterrada a 20 cm de profundidad del suelo a 40 cm de separación entre líneas regantes y emisores con un espaciamiento de 20 cm y un gasto de 1 lph, por ser un cultivo perene para el presente año se realizó un corte de estandarización realizado el 20/04/2017, posteriormente se condujo el experimento hasta el siguiente corte llevado a cabo el día 01/06/17 (42 días después). El experimento consistió en realizar un muestreo gravimétrico para determinar la humedad residual y llevar cada uno de los tratamientos a 100%, 80% y 40% de humedad aprovechable (Palacios 2002, p. 214) para T,1 T2 y T3 respectivamente, posteriormente se realizó el riego de acuerdo a la lectura de los sensores y se corroboraron los volúmenes aplicados en cada riego mediante un medidor volumétrico instalado en el cabeza de descarga del sistema de riego, el corte se realizó manualmente con tres sub-muestras aleatorias dentro de cada tratamiento con ayuda de un cuadro de 1 x 1 m. Las variables evaluadas son: altura de la planta (AL), Porcentaje de cobertura (COB), área foliar (AF), para calcular índice de área foliar (IAF) porcentaje de tallos (PT), porcentaje de hojas (PH) para calcular la relación hoja-tallo (H/T), forraje verde (FV) del cual se tomó una submuestra de 300 gr por c/u y fue llevada a una estufa de secado donde se dejó a 65°C durante 48 horas para calcular el porcentaje de materia seca y estimar el rendimiento de materia seca por ha (MS) y productividad

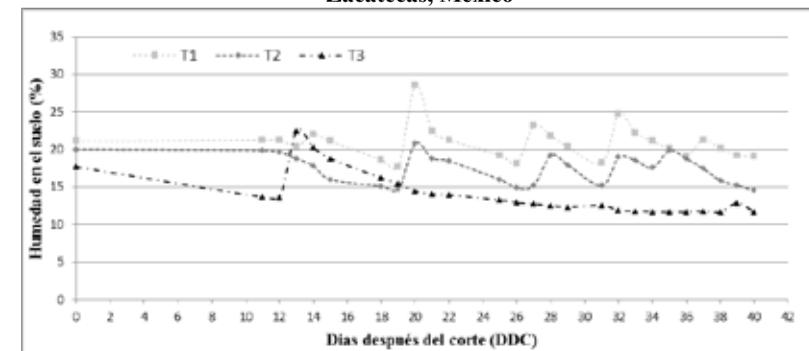
del agua (PA), es la relación de MS y la sumatoria de lámina de riego más precipitación efectiva es decir Evapotranspiración del cultivo (ET_c) para cada tratamiento.

Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de los tratamientos usando el estadístico Tukey al 5% de probabilidad. La función de respuesta del cultivo a los diferentes niveles de humedad, se obtuvo mediante análisis de regresión, al relacionar los datos observados de MS (t ha⁻¹) y PA (kg m⁻³) como variables dependientes y ET_c (mm) como variable independiente y se realizó mediante una regresión en SAS con el procedimiento Stepwise, seleccionando el modelo que presento mejor ajuste. (SAS, 2003). Para obtener la lámina de riego que maximiza el rendimiento de forraje seco de alfalfa (ET_{c-max}) y la lámina de riego que presenta el valor más alto de productividad de agua y rendimiento óptimo (ET_{c-opt}), se realizó un análisis de optimización con la teoría de máximos y mínimos del cálculo diferencial e integral (Steel, Torrie y Dickey 1997).

3. RESULTADOS

En el gráfico 1 se muestra el comportamiento de humedad, durante el corte de estandarización el corte analizado en el perfil del suelo a 30 cm de profundidad, estimado de acuerdo con el modelo $\%H = 39.269Ls^{-0.229}$ resultado de la calibración de los sensores utilizados. El cual presenta un $R^2 = 0.90$ donde: %H porcentaje de humedad en el suelo y Ls: Lectura de sensor tomada diariamente a las 8:30 horas en Cbar. Donde se observa que humedad en el suelo para T1 (5-15 Cbar) es superior al resto de los tratamientos, pero inferiores a los resultados de CC obtenidos del análisis de laboratorio y para T3 (90-110 Cbar) que es el tratamiento de menor humedad presenta valores inferiores a PMP. Por lo que se atribuye la sensibilidad y precisión de los sensores utilizados.

Gráfico 1. Tendencia generalizada de la humedad del suelo en tres parcelas experimentales de alfalfa, Zacatecas, México



Fuente: Datos obtenidos del levantamiento de información.

En resultados (Tabla 1) se observa diferencias estadísticas ($P>0.05$) donde T1 sobre salió en la mayoría de las variables evaluadas excepto para H/T que presentó los valores más bajos, donde, T3 presento lo valores más altos, donde ALT, COB, FV e IAF son variables que describen rendimiento los cuales son superiores a los reportados por Méndez (2016) para alfalfa producida en Zacatecas, la variable H/T representa calidad ya que la hoja es el componente que presenta mayor valor nutritivo (Romero, Aronna y Cuatrín, 2002). El mismo autor reporta valores promedios de 4 variedades evaluadas en el ciclo de primavera de 0.84, muy similares a los resultados de este estudio.

Tabla 1. Análisis estadístico de las variables de muestreo en el cultivo de alfalfa bajo la productividad de agua aplicada en nueve condiciones de humedad en Zacatecas México 2017

TRAT	ALT (cm)	COB (%)	FV (t ha ⁻¹)	H/T	IAF
1	89.33±2.33a	0.93±0.02a	39.33±3.06a	0.78±0.01c	11.81±0.57a
2	81.44±4.95ab	0.95±0.03a	31.67±2.52b	0.82±0.02b	9.89±1.2ab
3	72.33±4.1b	0.82±0.04b	24.33±4.04c	0.92±0.01a	7.68±1b
CV*	4.391631	3.076527	7.114332	0.521920	8.829372
MSE**	3.5588	0.027689	2.26077	0.238048	0.864886
F-valor	9.4100	11.7200	18.6400	109.02	9.40
Pr>F	0.0259	0.01760	0.00750	0.0002	11.81±0.57a

ALT- altura del cultivo; COB- cobertura del cultivo; FV- forraje verde; H/T- relación hoja-tallo y IAF- índice de área foliar. *Coeficiente de variación ** Error cuadrático medio. Medias con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente según Tukey al 5%.

Fuente: Datos obtenidos del levantamiento de información.

En los resultados de la tabla 2 para la variable MS no hubo diferencia estadística ($P>0.05$) donde T1 sobre salió con 6.65 t ha⁻¹ y T3 con los valores más bajos con 5.27 t ha⁻¹, superiores reportados por Méndez (2016) y Sánchez et al (2015) que muestran valores máximos de 4.5 t ha⁻¹ con riego por goteo subsuperficial en Zacatecas. Mientras que para ET_c se tiene una mediana de 192.47 mm, valores similares a los reportados por Godoy, Torres, Reyes y Valdez (1998) y Sánchez, Servín, Gutiérrez y Serna (2107) En cuanto PA se observa una diferencia estadística ($P>0.05$) donde sobre sale T2 con 4.02 kg m⁻³ y el valor más bajo de 2.67 kg m⁻³ para T1 similar a la obtenido por Grimes, Wiley y Sheesley (1992) que va desde 1.0-2.6 kg m⁻³ y Brown, Moot y Pollock (2005) reportaron valores de hasta 2.9 kg m⁻³.

Tabla 2. Rendimiento de materia seca y productividad de agua para el cultivo de alfalfa en función de evapotranspiración del cultivo

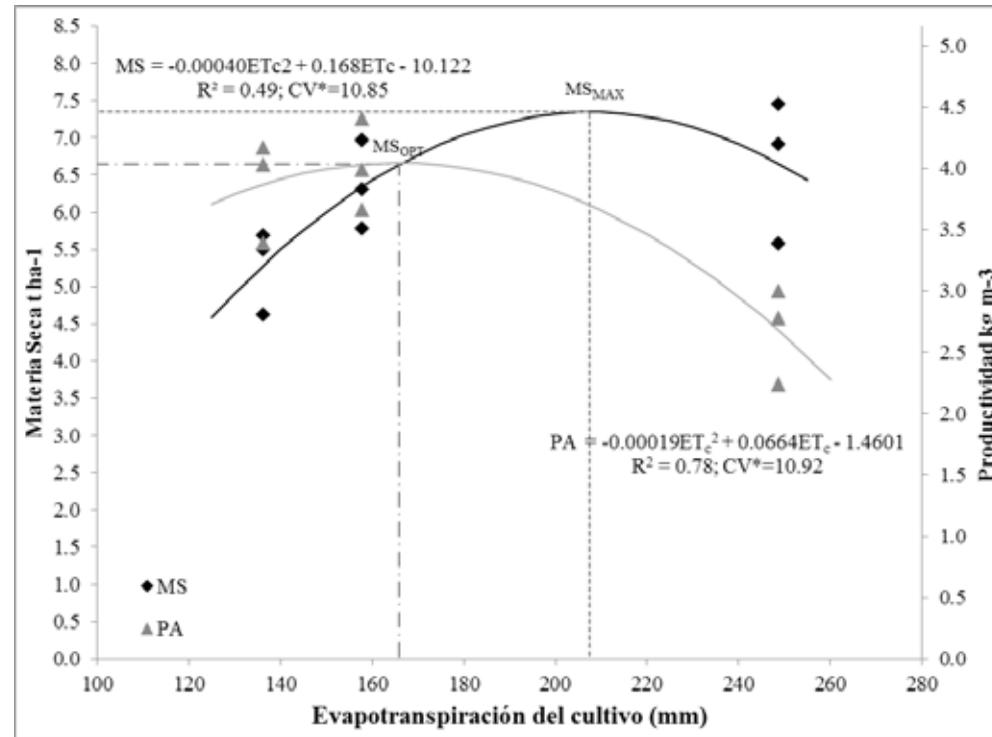
TRAT	ET _c (mm)	MS (t ha ⁻¹)	PA (Kg m ⁻³)
1	248.64	6.65±0.97a	2.67±0.39b
2	157.96	6.35±0.59a	4.02±0.38a
3	136.30	5.27±0.57a	3.87±0.42b
CV*	-	10.85654	10.91410
MSE**	-	0.661043	0.384419
F-valor	-	2.64	6.23
Pr>F	-	0.1848	0.0521

ET_c-evapotranspiración del cultivo; MS - rendimiento de materia seca; PA- productividad de agua de riego; *Coeficiente de variación ** Error cuadrático medio. Medias con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente según Tukey al 5%.

Fuente: Datos obtenidos del levantamiento de información.

Al relacionar la producción de forraje seco de alfalfa (MS) y productividad de agua de riego (PA) con la ET_c, se observó que entre ambas variables existió una relación de tipo polinomial con rendimientos crecientes y decrecientes, al igual que la productividad (Gráfico 2). También se agregaron las líneas de tendencia de los datos, donde se muestra el punto máximo de rendimiento y productividad, donde se intersectan ambas curvas se encuentra el punto óptimo donde utilizado para obtener la máxima productividad del agua sin poner en riesgo el rendimiento de materia seca.

Gráfico 2.-Relación de rendimiento de materia seca y productividad de agua del cultivo de alfalfa para forraje en función de la evapotranspiración de cultivo



Fuente: Datos obtenidos del levantamiento de información.

Con los modelos obtenidos de MS y PA (Gráfico 2) se realizó un análisis de optimización y se permite deducir que la alfalfa maximiza biológicamente su producción de forraje a 7.34 t ha^{-1} (MS_{max}), cuando consume $ET_{c-\text{max}} = 207.518 \text{ mm}$ y el valor máximo de productividad del agua de 4.045 kg m^{-3} , se obtiene cuando consume $ET_{c-\text{opt}} = 165.94 \text{ mm}$ presentando un rendimiento óptimo de 6.643 t ha^{-1} (MS_{opt}). A pesar de que no todos sus coeficientes de regresión fueron significativos ($P > 0.05$), los modelos obtenidos presentaron un ajuste aceptable.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los modelos obtenidos es posible incrementar la productividad de agua de riego y definir que con una evapotranspiración del cultivo media de 165.94 mm se

obtiene los valores más altos de productividad alcanzando un rendimiento de 6.6 t ha^{-1} manteniendo el porcentaje de humedad en el suelo a $21\% \pm 2.3\%$ o a una tensión de humedad en el suelo de $50\text{-}75 \text{ Cbar}$ de acuerdo con los sensores de humedad marca Watermark®.

Cabe mencionar que es importante realizar el estudio con más cortes y en diferentes estaciones climáticas para validar los modelos obtenidos. También, es necesario realizar análisis bromatológicos para determinar la calidad del forraje ya que se observaron valores más altos de H/T en el tratamiento menos irrigado por lo que se hace necesario obtener los kg de proteína cruda por metro cubico de agua utilizado.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en su totalidad en las instalaciones del Campo Experimental Zacatecas, del Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), de Calera de Víctor Rosales Zacatecas, bajo la dirección y asesoría del M.C. Miguel Servin Palestina. Forma parte del proyecto “Sistema para la toma de decisiones en el establecimiento de los cultivos en las unidades de producción agrícola, basado en disponibilidad y manejo de agua de riego” financiado por el INIFAP.

LITERATURA CITADA

- Abdul-Jabbar, A. S., Sammis, T. W. & Lugg, D. G. (1982). Effect of moisture level on the root pattern of alfalfa. *Irrigation Science*, 3(3): 197-207.
- Brown, H. E., Moot, D. J. & Pollock, K. M. (2005). Herbage production, persistence, nutritive characteristics and water use of perennial forages grown over 6 years on a Wakanui silt loam. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48, 423-439.
- Castro, P. M., Aguilar, M. F., Quevedo, N. A., Kleisinger, S., Tijerina, C. L. y Mejia, S. E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agríc. Téc. Méx.* 34(4):459-470.
- Godoy, A. C., Torres, E. C. A., Reyes, J. I. y Valdez, R. V. M. (1998). Sistemas de irrigación y eficiencia en el uso del agua. Informe técnico. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, Matamoros, Coahuila.
- Grimes, D. W., Wiley, P. L. & Sheesley, W. R. (1992). Alfalfa Yield and Plant Water Relations with Variable Irrigation. *Crop Science* 32: 1381-1387.

Hirth, J. R., Haines, P. J., Ridley, A. M. & Wilson, K. (2001). Lucerne in crop rotation on the Riverine Plains. 2. Biomass and grain yields, water use efficiency, soil nitrogen, and profitability. *Aust J Agric Res*, 52 (2):279-293.

Inzunza, I. M. A., Villa, C. M., Catalán, V. E. A. y Mendoza, M. S. F. (2006). Modelo para estimar el rendimiento de maíz en función de la humedad del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(2): 179-185.

Lara, C. R., y Jurado, P. (2014). Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de Chihuahua. Folleto Técnico. *Centro de Investigación Regional Norte Centro Sitio Experimental La Campana Aldama, Chihuahua*, (Núm. 52) ISBN: 978-607-37-0277-5.

Llewelyn, R. V., & Featherstone, A. M. (1997). A comparison of crop production functions using simulated data for irrigated corn in western Kansas. *Agric. Systems*, 54(4): 521-538.

Medina G., y Ruíz, J. A. (2004). Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Zacatecas (Período 1961–2003). *SAGARPA-INIFAPCIRNOC-Campo Experimental Zacatecas*. Libro Técnico No. 3. p. 40.

Méndez, I. (2016). Productividad de alfalfa con tres regímenes de humedad en un sistema de riego sub-superficial. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Zacatecas, El Cordoval, Gral. Enrique Estrada, Zacatecas, México.

Moreno, L., García, D. y Faz, R. (2000). Producción y utilización de la alfalfa en zona norte de México. Libro técnico No. 2. *Campo Experimental La Laguna. CIRNOC. INIFAP*. pp. 63-78.

Palacios, V. E. (2002). ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar?: para lograr mejores cosechas. *Trillas*, México, DF, p. 214.

Reca, J., Roldán, J., Alcaide, M., López, R. & Camacho, E. (2001). Optimization model for water allocation in deficit irrigation systems. I. Description of the model. *Agric. Water Manage*, 48(2): 103-116.

Reck, W. R. & Overman, A. R. (1996). Estimation of corn Response to water and applied nitrogen. *J. Plant Nutr*, 19(1): 201-214.

Romero, L. A., Aronna, M. S. y Cuatrín, A. L. (2002). Producción Estatal de forraje y relación Hoja-Tallo de alfalfas multifoliadas. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 25. Sammis, T. W. (1981). Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation. *Agronomy Journal*, 73(2): 323-329.

Sánchez, B., Zegbe, J. A., Rumayor, R. A. F. y Moctezuma, G. (2013). Estructura económica competitiva del sector agropecuario de Zacatecas: un análisis por agrocadenas. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 17(33), 552-563.

Sánchez, R.A., Servín, M., Gutiérrez, H., Serna, A. (2017) Eficiencia en el uso del agua de variedades de alfalfa (Medicago sativa L.) con sistema de riego subsuperficial *Rev Mex Cienc Pecu*, 8(4):429-435 [en Prensa].

SAS, (2003) User Guide. Statistical Analysis System. *Inc. Cary, NC*. versión 9.3.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIAP (2010-2015), en la sección de Anuario Estadístico de la producción Agrícola. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/ientidad/index.jsp. Consulta en línea el 30/06/2017 y 03/07/2017.

Servin, M. (2015). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Texcoco México.

Steduto, P., Hsiao, T., Fereres E. y Raes, D. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. *FAO Roma, 2012, Estudio FAO: Riego y Drenaje 66*, ISSN 0254-5284. Steel, R.G., Torrie, J.H. & Dickey M. (1997). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Third edition. New York, the McGraw-Hill Companies.

Teixeira, R. M., de Sosa, J. M., Valadares S. de C., Soares, A., Jorge, A. y dos Santos, D. (2007). Consumo, digestibilidad y rendimiento de novillos alimentados con cáscara de café en sustitución del silaje de maíz. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (4) 968-977.

Lisset Herrera Isidró^{2†}, Angélica Nieto González^{1†}, Miriam Isidró Pérez³, Graciela María Luz Ruiz Aguilar¹, Julio Pérez Guzmán¹, María del Rosario Abraham Juárez¹, Vicente Javier Villafaña¹, Héctor Gordon Nuñez Palenius^{1*}

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE ESPECIES DEL GÉNERO AGAVE, MEDIANTE SSR E ISTR, DE LA COLECCIÓN NACIONAL DE AGAVES UG-SAGARPA

ABSTRACT

The genus *Agave* comprises species with high ecological, economic and cultural value in Mexico. In this study the molecular characterization of several accessions of agave belonging to “In Vitro National Collection of Agaves, Camote de Cerro and Achiote UG-SAGARPA” using microsatellite type molecular markers ISTR and SSR was performed. As result, 134 alleles were amplified, 38 of which were very informative. The primers alone, or in combinations, showed to be useful to determine genetic variations among species. The primer combination F10-B8 showed a superior discriminatory capacity. The UPGMA (Pair-Group Method Arithmetic-Average) analysis showed that some species could be grouped according to Gentry (1982). The fingerprints corresponding to each agave specie are useful to reduce the management costs of the germplasm bank and may help in characterizing and use of genetic diversity present.

¹ Universidad de Guanajuato. Campus Irapuato-Salamanca. División de Ciencias de la Vida, México.

² Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato. México.

³ Universidad Agraria de la Habana. Facultad de Agronomía. Cuba

⁴ SAGARPA. Subdirección de Centros de Conservación. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: palenius@ugtomx.onmicrosoft.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Lisset Herrera-Isidró y Angélica Nieto-González, contribuyeron de igual modo a la realización de este trabajo

Palabras clave: germoplasma de Agaváceas, polimorfismos, marcadores moleculares, microsatélites

INTRODUCCIÓN

Los agaves o magueyes constituyen un grupo de plantas suculentas, monocotiledóneas, de gran importancia económica y ecológica, siendo ampliamente usados como fuente de fibras duras, en la alimentación y para la elaboración de bebidas alcohólicas fermentadas y destiladas (García-Mendoza, 1995; Reynoso-Santos *et al.*, 2012).

La familia *Asparagaceae*, subfamilia *Agavaceae*, es endémica de América y está conformada por nueve géneros y 340 especies (García-Mendoza, 2002). El género *Agave* es el más grande y diverso, y se divide en los subgrupos genéricos *Littaea* y *Agave*. La clasificación de este género ha sido controversial debido a evaluaciones que se realizaron en un inicio en plantas fuera de su hábitat natural, o sin considerar el tipo de estructura floral, lo cual es determinante para su taxonomía (Gentry, 1982; Granados, 1993; Gil-Vega *et al.*, 2006).

La región de mayor riqueza y diversidad biológica de agaves se encuentra en México, con alrededor de 260 especies (Gentry, 1982), por lo que ha sido considerado como su centro de origen (García-Mendoza, 1995). Este alto grado de endemismo se atribuye a diversos factores como la amplitud y heterogeneidad del territorio, a la plasticidad genética de los taxones, y a la capacidad de dispersión e interacción con polinizadores (García-Mendoza, 2007). Adicionalmente, las estrechas relaciones etnobotánicas del agave creadas desde las culturas precolombinas con los grupos humanos, determinaron en gran medida su distribución, y han influido en el establecimiento de los sistemas agrícolas tradicionales y comerciales para esta especie (Almaraz, 1984; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007).

El aprovechamiento de la diversidad es un factor clave para lograr la sustentabilidad y el mejoramiento productivo de la industria del agave. La importancia de la conservación de estos recursos fitogenéticos, unida a la creciente expansión comercial del agave azul, han propiciado la necesidad de salvaguardar la diversidad genética de esta especie (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007; Vargas-Ponce *et al.*, 2009).

Los bancos de germoplasma desempeñan un papel fundamental en la conservación, la disponibilidad y el uso de la diversidad fitogenética, como contribución a la seguridad alimentaria y nutricional (FAO 2014). En la Universidad de Guanajuato se preserva parte de esta diversidad en la Colección Nacional In Vitro de Agaves, Camote de Cerro y Achiote UG-SAGARPA. Además del propósito de conservación, este banco de germoplasma cumple con la función de evaluar y

documentar la variabilidad genética presente, de modo que permita la identificación de caracteres en los individuos que la conforman.

El análisis de la diversidad genética está determinado por el tipo de marcadores utilizados, ya sean agromorfológicos, citogénéticos o moleculares. El uso de marcadores moleculares para la caracterización de bancos de germoplasma es una herramienta invaluable debido a la sensibilidad de los descriptores morfológicos a factores ambientales (Reddy *et al.*, 2002). Para el caso de los agaves cobra mayor importancia debido a su compleja caracterización morfológica, aunado a sus largos ciclos de vida y a la insuficiencia de bases de datos genómicos disponibles.

Es de gran interés realizar una caracterización a nivel molecular del banco de germoplasma de agaves que se encuentra en la Universidad de Guanajuato. Esto permitiría contar con una herramienta para clasificar de forma inequívoca las accesiones presentes, detectar duplicados y asegurar la legitimidad de los nuevos materiales, aportando además información útil para el uso y la selección eficaz de cultivares para el mejoramiento.

En el presente trabajo se realizó la caracterización molecular, por medio de marcadores moleculares del tipo SSR e ISTR, de accesiones de agave pertenecientes a la Colección Nacional In vitro de Agaves, Camote de Cerro y Achiote UG-SAGARPA.

METODOLOGÍA

Material vegetal

Se seleccionaron accesiones de agave provenientes de la Colección Nacional In vitro de Agaves, Camote de Cerro y Achiote UG-SAGARPA, que corresponden a especies con un mayor grado de usos potenciales (Tabla 1). Las accesiones correspondientes en campo (colección *ex vitro*) cumplen con los criterios morfológicos de Gentry (1982).

Tabla 1. Listado de las accesiones de agave incluidas en el presente estudio y su clasificación (Gentry, 1982)

ID	Accesión	Género	Subgénero	Grupo	Especie
1	35	Agave	Agave	Rigidiae	<i>A. tequilana</i>
2	55	Agave	Littaea	Marginatae	<i>A. victoriae-reginae</i>
3	50	Agave	Littaea	Choritepalae	<i>A. guiengola</i>
4	48	Agave	Agave	Rigidiae	<i>A. angustifolia</i>
5	47	Agave	Littaea	Polycephalae	<i>A. mitis</i>
6	45	Agave	Agave	Crenatae	<i>A. inaequidens</i>
7	40	Agave	Agave	Ditepalae	<i>A. durangensis</i>
8	33	Agave	Agave	Salmianae	<i>A. mapisaga</i>
9	20	Agave	Agave	Salmianae	<i>A. salmiana crassispina</i>

10	11	Agave	Agave	Ditepalae	<i>A. applanata</i>
11	3	Agave	Agave	Crenatae	<i>A. cupreata</i>
12	60	Agave	Littaea	Striatae	<i>A. striata</i>
13	43	Agave	Littaea	Marginatae	<i>A. lechuguilla</i>
14	52	Agave	Littaea	Marginatae	<i>A. obscura</i>
15	49	Agave	Littaea	Amolae	<i>A. vilmoriniana</i>
16	5	Agave	Agave	Salmianae	<i>A. salmiana</i>
17	53	Agave	Agave	Rigidiae	<i>A. fourcroydes</i>
18	46	Agave	Agave	Americanae	<i>A. americana</i>
19	44	Agave	Agave	Sisalanae	<i>A. weberi</i>
20	15	Agave	Agave	Americanae	<i>A. scabra</i>
21	57	Agave	Agave	Hiemiflorae	<i>A. pygmaea</i>
22	58	Agave	Littaea	Polycephalae	<i>A. celsii</i>

Extracción del ADN genómico

Se aisló el ADN de hojas de las plantas de agave conservadas *in vitro* de las 22 accesiones, basado en el protocolo de extracción reportado por Doyle y Doyle (1987), modificado con buffer STE (TrisHCl a 100 mM pH 8, EDTA a 50 mM pH 8, NaCl a 100 mM, $\square\square$ mercaptoetanol a 0.3%). La calidad y concentración del ADN se verificaron en geles de agarosa al 0.8% y mediante lectura de la absorbancia a 260 nm, y la determinación de la relación 260/280 nm en Nanodrop®.

Análisis molecular mediante SSR e ISTR

Se utilizaron 8 iniciadores de microsatélites reportados, los cuales fueron evaluados, de forma individual o combinada: 3 cebadores para la técnica SSR y 5 para los ISTR (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los cebadores utilizados en las técnicas de SSR e ISTR

Técnica	Oligo-nucleótido	Motivo repetido	Secuencia (5'-3')*	Referencia
SSR	P15	(GACA) ₃	GACAGACAGACARG	Dávila <i>et al.</i> (2007)
	P16	(GACA) ₃	YRGACAGACAGACA	Dávila <i>et al.</i> (2007)
	P49	(CACA) ₄	CACACACACACACART	Dávila <i>et al.</i> (2007)
ISTR	F1-B6	(AC) ₃	GCACTCCACCAAGAATACC GGTCCACTTGGTCCTTAG	Torres-Morán <i>et al.</i> (2008)
	F9-B6	(CC) ₃	TTACCTCCTCCATCTCGTAG GGTCCACTTGGTCCTTAG	Torres-Morán <i>et al.</i> (2008)
	F10-B8	(AG) ₃	TAAGCAAGCATCTCGGAG ATACCTTTCAGGGGATG	Torres-Morán (2009)
	F10-B6	(AG) ₃ (TCC) ₂	TAAGCAAGCATCTCGGAG GGTCCACTTGGTCCTTAG	Torres-Morán (2009)

*R=G ó A, Y=C ó T

Amplificación (PCR) y separación de los productos SSR e ISTR

La mezcla de amplificación de 20 µl (volumen final) estuvo compuesta por 10 µl de Máster Mix (2X) Thermo Scientific™, 0.3 µM de cada uno de los cebadores (indirecto y directo), 30 ng de ADN, y el resto se completó con agua. Las reacciones de amplificación se realizaron en un termociclador Techne (TC-512) y se siguieron programas con diferentes perfiles de temperatura y tiempos, de acuerdo a la técnica y oligonucleótidos empleados.

Para los SSR se realizó un paso inicial de desnaturalización de 5 min a 94°C, seguida de 35 ciclos, los cuales estuvieron compuestos por una etapa de desnaturalización de 1 min a 94°C, una hibridación 50 s a 40°C y una extensión de 1 ½ min a 72°C. La finalización del programa se realizó con un ciclo de extensión final a 72°C durante 10 min.

Para los ISTR se realizó un paso inicial de desnaturalización de 5 min a 94°C, seguida de 45 ciclos, los cuales estuvieron compuestos por una etapa de desnaturalización de 30 s a 94°C, una hibridación 50 s a 40°C y una extensión de 1 min a 72°C. La finalización del programa se realizó con un ciclo de extensión final a 72°C durante 10 min.

Las muestras amplificadas se separaron mediante electroforesis en geles de agarosa al 1.5% con buffer TAE 0.5X, en una cámara electroforética horizontal, donde se corrieron a 100 V. Para la visualización de los fragmentos amplificadas del ADN, los geles fueron teñidos con bromuro de etidio, y se capturaron las imágenes utilizando un fotodocumentador FluorShot EVO (Biosens SC 805).

Las reacciones se repitieron dos veces para reducir las variaciones en las corridas de electroforesis y evitar posibles errores en las bandas polimórficas observadas.

ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS

Se analizó la presencia/ausencia de cada banda (locus) generada por los cebadores en los individuos y se arreglaron los datos en una matriz de 1 (presencia) y 0 (ausencia) para cada uno de estos. Los genotipos de agave estudiados se agruparon con base a sus relaciones de similitud genética mediante el método UPGMA (Unweighted Pairwise Group Method with Arithmetic Averages), a partir de la matriz de similitud obtenida por el coeficiente de similitud de Jaccard. Se calculó el coeficiente de correlación cofenética determinando la fidelidad del ajuste entre matriz de similitud original y el dendrograma obtenido. La fiabilidad de los grupos obtenidos en el dendrograma se evaluó mediante análisis de remuestreo bootstrap utilizando 100 réplicas. Dichos cálculos se efectuaron mediante el programa en línea Dendro-UPGMA (García-Vallve, *et al.*, 1999). Los niveles de polimorfismo se determinaron como se describe en Infante *et al.* (2003) y Gil-Vega *et al.* (2001), donde el número de fragmentos polimórficos se divide por el número total de fragmentos analizados y fue expresado como el porcentaje.

RESULTADOS

Para determinar los niveles de variación genética se analizó la presencia (1) o ausencia (0) de cada banda amplificada por los cebadores en los individuos evaluados, con lo que se generó la matriz de datos correspondiente. En las 22 accesiones de agave analizadas se identificaron un total de 134 alelos, con un tamaño máximo de 5880 pb. De estos, 21 fueron amplificados con el cebador P15, 24 con el cebador P16, 26 con el cebador P49, 21 con el cebador F1-B6, 10 con el cebador F9-B6, 25 con el cebador F10-B8, 2 con el cebador F10-B6 y 5 con el cebador F91-31. Se encontraron 38 alelos únicos repartidos entre las 22 accesiones, obteniéndose valores de polimorfismo entre 20-50% (Tabla 3).

Tabla 3. Número de productos amplificados, alelos polimórficos por especie de agave y polimorfismo total obtenidos por conjunto de iniciadores

Oligonucleótido	Productos amplificados	Polimorfismo por especie (%)																				Polimorfismo total (%)		
		<i>A. requilama</i>	<i>A. victoriae-reginae</i>	<i>A. guineola</i>	<i>A. angustifolia</i>	<i>A. mitis</i>	<i>A. inaequalis</i>	<i>A. duranguensis</i>	<i>A. mapisaga</i>	<i>A. salmiana</i>	<i>A. applanata</i>	<i>A. cupreata</i>	<i>A. striata</i>	<i>A. lechuguilla</i>	<i>A. obscura</i>	<i>A. vilmoriniana</i>	<i>A. salmiana</i>	<i>A. fourcroydes</i>	<i>A. americana</i>	<i>A. weberi</i>	<i>A. scabra</i>		<i>A. pygmaea</i>	<i>A. celsii</i>
P15	21	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	23.8
P16	24	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	4.2	4.2	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.2
P49	26	7.7	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	3.9	3.9	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9
F1-B6	21	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	9.5	4.8	4.8	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3
F9-B6	10	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0
F10-B8	25	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	4.0	0.0	8.0	4.0	0.0	28.0
F10-B6	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

Para detectar diferencias entre las accesiones se realizó una selección de los alelos visiblemente más marcados, y que produjeron patrones de bandeo claros y variables. Se encontraron diferencias consistentes entre las técnicas utilizadas para el análisis de las accesiones, logrando diferenciar de forma específica 5 accesiones con marcadores SSR y 7 accesiones con ISTR (Tabla 4).

Tabla 4. Acciones de agave identificadas por las técnicas de SSR e ISTR y los cebadores correspondientes

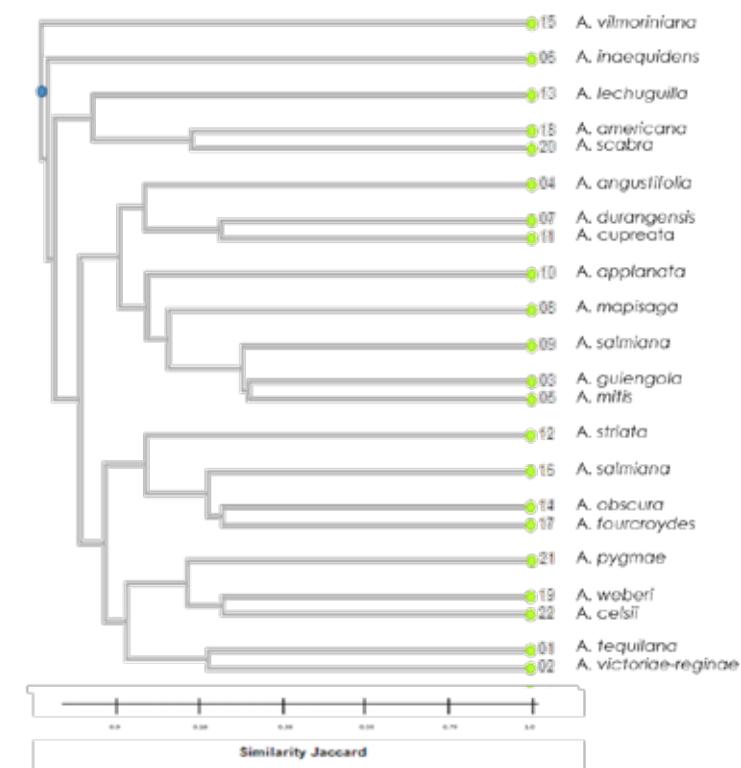
Técnica	Oligo-nucleótido	Rango de tamaño de bandas amplificadas (pb)	No. acción	Especies identificadas
SSR	P15	1671-233	47	<i>Agave mitis</i>
			57	<i>Agave pygmae</i>
			22	<i>Agave celsii</i>
	P16	2101-610	35	<i>Agave tequilana</i>
			47	<i>Agave mitis</i>
	P49	5880-472	49	<i>Agave vilmoriniana</i>
ISTR	F1-B6	2198-110	57	<i>Agave pygmae</i>
			40	<i>Agave durangensis</i>
	F9-B6	1042-153	55	<i>Agave victoriae-reginae</i>
			47	<i>Agave mitis</i>
	F10-B8	4872-169	49	<i>Agave vilmoriniana</i>
			47	<i>Agave mitis</i>
46			<i>Agave americana</i>	
			44	<i>Agave weberi</i>
			35	<i>Agave tequilana</i>

Relaciones genéticas entre los genotipos estudiados

En el dendrograma que presentó la mayor correlación cofenética (CP=0.723), y por tanto que refleja la mayor robustez en la clasificación de los genotipos, varias de las acciones responden a los grupos a los que pertenecen según la clasificación morfológica de Gentry (1982) (Figura 1).

Las distancias genéticas estimadas con el índice de Jaccard, tuvieron un promedio de $D = 0.6483$, con un mínimo de 0.5, entre *A. guiengola*-*A. mitis*, y un máximo de 1, entre *A. lechuguilla*-*A. fourcroydes*, *A. mitis*-*A. weberi* y *A. inaequidens*-*A. striata*.

Figura 1. Dendrograma de los genotipos de agave analizados, mediante el programa Dendro-UPGMA



Con los resultados obtenidos se pudieron diseñar patrones de huella genética de calidad para cada una de las especies diferenciadas, que actualmente forman parte del acervo de información de la colección de agaves.

Diversas técnicas han sido aplicadas para analizar el polimorfismo del DNA en las *Agavaceas*, de los cuales los ISTR se encuentran dentro de los que han mostrado una mayor capacidad discriminatoria (Hurtado, 2008; Torres-Morán *et al.*, 2009; 2010; Almaraz-Abarca *et al.*, 2013). Entre otras particularidades, los ISTR pueden detectar niveles de polomorfismo en el ADN con el uso de cebadores universales y sin que se realicen modificaciones después de su aislamiento.

Respecto a otras metodologías, los ISTR pueden revelar de forma reproducible y simultánea múltiples loci genómicos en una reacción de amplificación simple, en un período de tiempo relativamente corto y con menores costos. Estos marcadores han sido informativos para evaluar la extensión de la diversidad genética inter y/o

intra específica de diversas especies de agave, como *A. angustifolia*, *A. durangensis*, *A. tequilana*, *A. fourcroydes*, *A. parryi*, *A. deserti*, *A. cocuy*, *A. americana*, *A. sisalana* y *A. lechuguilla* (Infante *et al.*, 2006; Dávila y Castillo, 2007; Dávila *et al.*, 2007; Demey *et al.*, 2007; Vargas-Ponce *et al.*, 2009; Torres-Moran *et al.*, 2010; Parker *et al.*, 2010; Torres-Moran *et al.*, 2012; Linsday *et al.*, 2012; Torres-Moran *et al.*, 2013; Almaraz *et al.*, 2013), entre otros.

La caracterización molecular realizada en el presente trabajo amplía la información de la Colección Nacional In vitro de Agaves, Camote de Cerro y Achiote UG-SAGARPA. Como complemento a la caracterización morfológica existente, los caracteres moleculares aquí identificados son universales, informativos y trabajan directamente con la base genética de la variación. Con ello se contribuye a disminuir los costos en el manejo del banco y se delimitan las acciones de colectas para su enriquecimiento. Adicionalmente, constituye un aporte para futuros trabajos en programa de mejoramiento genético del agave.

CONCLUSIONES

Se establecieron metodologías confiables para caracterizar molecularmente, por medio de los marcadores de tipo SSR e ISTR, accesiones de la Colección Nacional In Vitro de Agaves UG-SAGARPA. Los patrones de fragmentos amplificados demostraron tener capacidad discriminatoria intraespecie, La técnica de ISTR, y en particular la combinación de iniciadores F10-B8, reveló el mayor porcentaje de polimorfismo, debido a que logró diferenciar la mayor cantidad de especies.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento de la SAGARPA, a través de la COFUPRO, para la realización de este proyecto, mediante el Programa Fomento a la Agricultura del Componente de Innovación Agroalimentaria 2016, con la aprobación del proyecto intitulado: Conservación de los recursos fitogenéticos e identificación de usos potenciales de la diversidad de especies de agave en México, Folio de solicitud SURI DF1600000635, Folio de solicitud interno SNITT/17.

LITERATURA CITADA

Almaraz, A.N. (1984). *Estudio etnobotánico de los agaves del Altiplano Potosino*. México: UNAM. Tesis.

Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E.A., Torres-Mora, M.I., Herrera-Corral, J.,

Avila-Reyes, J. A., Naranjo-Jiménez, N., Uribe-Soto, J.N. (2013). *Genetic variability in natural populations of agave Durangensis (Agavaceae) revealed by morphological and molecular traits*. The southwestern naturalist, 58(3), 314–324.

Dávila, M. y Castillo, M.A. (2007). *Valor potencial de marcadores Microsatélite de tabaco en la identificación de especies de agave*. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 41(2), 215-226.

Dávila, M., Castillo, M. A., Laurentin, H. (2007). *Uso de marcadores moleculares ISSR para inferir las relaciones genéticas y la variabilidad intraespecífico de Agave*. Rev. Fac. Agron. Maracay, 33, 93-111.

Demey, J.R., Gamez, E., Molina, S., Infante, D. (2004). *Comparative Study of the Discriminating Capacity of AFLP and ISTR Markers for Genetic Analysis of Agave fourcroydes*, Plant Molecular Biology Reporter, 22 (1), 29-35.

Doyle, J.J., Doyle, J.L. (1987). *A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue*. Phytochemical Bulletin, 19:11-15.

FAO. (2014). *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Edición revisada. Roma.

García-Mendoza, A.J. (2007). *Los agaves de México*. Ciencias, 87, 14-23.

García-Mendoza, A.J. (1995). *Riqueza y endemismo de la familia Agavaceae en México*. En: Linares, E., Dávila, P., Chiang, F., Bye, R., Elias, T. (eds.). *Conservación de Plantas en Peligro de Extinción: Diferentes Enfoques*. México: Instituto de Biología, UNAM.

García-Mendoza, A.J. (2002). *Distribution of the genus Agave (Agavaceae) and its endemic species in Mexico*. *Cactus and Succulent Journal*, 74, 177-187.

García-Vallve, S., Palau, J., Romeu, A. (1999). *Horizontal gene transfer in glycosyl hydrolases inferred from codon usage in Escherichia coli and Bacillus subtilis*. Mol. Biol. Evol, 16, 1125-1134.

Gentry, H. (1982). *Agaves of continental North America*. Tucson, Arizona, USA: Univ.

Of Arizona Press.

Gil-Vega, K., Díaz, C., Nava-Cedillo, A., Simpson, J. (2006). *AFLP analysis of Agave tequilana varieties*. Plant Science, 170, 904-909.

Gil-Vega, K., González, M., Martínez de la Vega, O., Simpson, J., Vandemark, G. (2001). *Análisis of genetic diversity in Agave tequilana var. Azul using RAPD Markers*. Euphytica 119, 335-341.

Granados, S.D. (1993). *Los Agaves en México*. Universidad Autónoma Chapingo. México. Colunga-garcíamarín, P., Zizumbo-Villarreal, D. (2007). *Tequila and other Agave spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin*. Biodiversity and Conservation, 16, 1653-1667.

Hurtado, S.A. (2008). *Variabilidad intraespecífica en Agave tequilana weber var. Azul detectada con caracteres morfológicos y moleculares, México*: Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Tesis de Doctorado.

Infante, D., González, G., Peraza-Echeverría, L., Keb-Llanes, M. (2003). *Asexual genetic variability in Agave fourcroydes*. Plant Sci. 164, 223-230.

Infante, D., Molina, S., Demey, J. R., Gámez E. (2006). *Asexual genetic variability in Agavaceae determined with inverse sequence-tagged repeats and amplification fragment length polymorphism analysis*, Plant Molecular Biology Reporter 24,205-217.

Lindsay, D.L., Edwards, C.E., Jung, M.D., Bailey, P. Lance, R.F. (1999). *Novel microsatellite loci for Agave parryi and cross-amplification in Agave palmeri (Agavaceae)*. American Journal of Botany, e295-e297.

Parker, K.C., Trapnell, D.W., Hamrick, J.L., Hodgson, W.C., Parker, A.J. (2010). *Inferring ancient Agave cultivation practices from contemporary genetic patterns*. Molecular Ecology 19, 1622-1637

Reddy, M.P., Sarla, N., Siddiq, E.A. (2002). *Inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding*. Euphytica, 128, 9-17.

Reynoso-Santos, R., García-Mendoza, A.J., López-Báez, W., López-Luna, A., Cadena, P., Pérez-Farrera, M.A., Domínguez, M.H. (2012). *Identificación taxonómica de agaves (Agave spp.) utilizados para la elaboración del licor comiteco en Chiapas, México*. Agroproductividad, 5, 9-17.

Torres-Moran M.I., Velasco-Ramírez, A.P., Hurtado-de la Pena, S.A., Rodríguez-García A., y Mena-Munguía S. (2013). *Variability and genetic structure in a commercial field of tequila plants, agave Tequilana weber (Agavaceae)*. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 28 (1), 44-53.

Torres-Moran, M.I., Almaraz-Abarca, N., Escoto-Delgadillo, M. (2012). *ISTR, a Retrotransposons-Based Marker to Assess Plant Genome Variability with Special Emphasis in the Genera Zea and Agave*. American Journal of Plant Sciences, 3, 1820-1826.

Torres-Moran, M.I., Escoto-Delgadillo M., Molina-Moret S., Rivera-Rodríguez D.M., Velasco-Ramírez A.P., et al. (2010). *Assessment of genetic fidelity among Agave tequilana plants propagated asexually via rhizomes versus in vitro culture*. Plant. Cell. Tiss. Org. Cult., 103, 403-409.

Torres-Moran, M.I. (2009). *Caracterización molecular del complejo Agave durangensis por medio de marcadores ISTR*, México: Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Tesis de Doctorado.

Torres-Moran, M.I., Almaraz-Abarca, N., Velasco-Ramírez, A.P., Hernández-Vargas, V., Orea-Lara, G., Cifuentes-Díaz de León A., Oliver-Salvador, C. (2008). *Taxonomic Significance of ISTR to Discriminate Species in Agavaceae*. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 34, 661-665.

Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villarreal, D., Martínez-Castillo, J., Coello-Coello, J., Colunga-garcíamarín, P. (2009). *Diversity and structure of landraces of Agave grown for spirits under traditional agriculture: a comparison with wild populations of A. Angustifolia (Agavaceae) and commercial plantations of A. tequilana*. American Journal of Botany, 96, 448-457.

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA PLANTA DE HIGUERILLA RELACIONADAS CON EL DISEÑO DE COSECHADORAS

RESUMEN

A pesar de que la higuera es uno de los cultivos energéticos con mayor potencial, dado su alto contenido de aceite, en México presenta dificultades debido a la falta de tecnologías adecuadas para su producción y procesamiento. Los retos se presentan en la falta de equipamientos para su producción, manejo y principalmente en la cosecha. Por lo tanto, en esta investigación se realiza la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de las plantas, racimos y cápsulas de higuera. Estos datos son indispensables para el cálculo de los principales parámetros de diseño y explotación de las máquinas cosechadoras. Durante la investigación se desarrolló un prototipo experimental para determinar el torque requerido durante el proceso de cosecha de las cápsulas, registrándose un valor máximo de 24.33 N·m.

ABSTRACT

Even though castor crop has the highest potential as an energetic crop, due to its high oil content, in Mexico it has faced several difficulties due to the lack of technologies for its production and processing. The challenges are due to the lack of equipment for crop production, management, and mainly for harvesting. Therefore, in this research

the characterization of the physical and mechanical properties of the plants, clusters and castor nuts, were performed. This information is required for calculating the main components and defining adequate design and exploitation parameters for the harvesters. Throughout the research an experimental device was developed in order to determine the required torque for nut harvesting, with a maximum recorded value of 24.33 N·m.

PALABRAS CLAVE: Cabezal cosechador, biocombustibles, *Ricinus communis* L., máquinas agrícolas, cultivos energéticos.

1. INTRODUCCIÓN

México, al igual que el resto del mundo, busca una transición energética, donde se incrementa el uso de energías alternativas, incluyendo los biocombustibles que se extraen de especies productoras de aceites. Por lo tanto, se busca el desarrollo tecnológico en la producción de biocombustibles a través de cultivos sustentables que contribuyan a una diversificación energética (SENER, 2011).

La higuera (*Ricinus communis* L.) presenta un amplio potencial para producir aceite, y éste a su vez tiene diversas aplicaciones, incluyendo: la fabricación de biocombustibles, uso industrial y aplicaciones médicas. Una de las ventajas que ofrece con respecto a otros cultivos oleaginosos, es que se puede producir en regiones con condiciones climáticas desfavorables, lo cual lo hace un cultivo que no compite con cultivos alimenticios (Ingle y Nandedkar, 2013).

La reciente introducción de la higuera para el aprovechamiento industrial al campo mexicano ha hecho evidente la necesidad de generar y validar sistemas de producción mecanizados en todo el proceso productivo, desde la siembra a la cosecha; y que se contribuya a incrementar el área cultivada, la producción de aceite, la reducción de los costos de producción y por ende la mitigación de gases de efecto invernadero (SNIITT, 2012).

Según la base de datos estadísticos de la FAO, en el 2016 México reportó una superficie cosechada estimada de 6 622 ha de cultivo de higuera. Pero se estima que para años posteriores la superficie sembrada aumente considerablemente, dado que la producción de aceites bioenergéticos en nuestro país no cubre la demanda interna. Por lo tanto, para contribuir en el desarrollo tecnológico del proceso productivo, el presente trabajo se enfoca en determinar las propiedades físicas-mecánicas de la higuera para que en investigaciones futuras sirva como referencia para el diseño de los órganos de trabajo de cosechadoras especializadas para dicho cultivo.

¹ Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 carretera México-Texcoco S/N. Texcoco, Estado de México. C.P. 56230.

² Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola - INIFAP

* efitzr@taurus.chapingo.mx; ramonreji@gmail.com

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron muestras de la variedad Guanajuato Oil (GTO. OIL) del campo experimental INIFAP Valle de México, ubicado en Texcoco, Estado de México. El muestreo se realizó en forma de punto centro cuadrado sobre la superficie cultivada acorde al método usado por el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA), descartando plantas con daños físicos y, que los racimos de cada muestra estuviesen lo más completo posible.

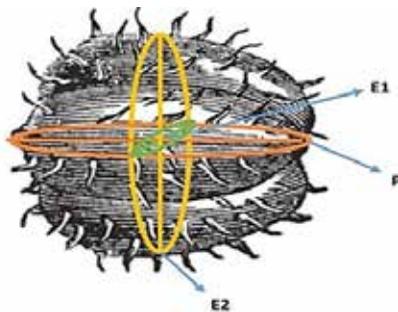
La metodología usada para la determinación de las propiedades físicas fue adaptada de publicaciones de investigadores que han trabajado con semillas oleaginosas (Bouza et al., 2007; Alcali and Guven, 1990; Frazer et al., 1978; Gharibzahedi et al., 2011; Oje and Ugbor, 1991; Olaoye, 2000).

Las mediciones correspondientes, se llevaron a cabo en los laboratorios del INIFAP-CENEMA y del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA) de la UACh, con ayuda de la instrumentación adecuada para cada una de las características y propiedades determinadas.

2.1 Dimensiones

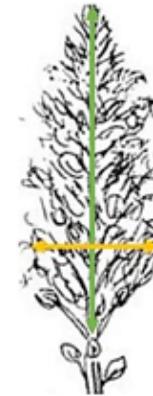
Para determinar las dimensiones y la masa, se seleccionaron de manera aleatoria 100 cápsulas. Con un vernier digital con una precisión de 0.01 mm, se midieron tres longitudes principales: diámetro ecuatorial $E1$, diámetro ecuatorial $E2$ y diámetro polar P , para determinar el diámetro característico del fruto tricoco (Figura 1).

Figura 1. Longitudes principales para la obtención de diámetro característico



En cuanto al racimo se refiere, se tomaron los parámetros geométricos que corresponde a un cono: longitud y diámetro máximo. La medición se realizó a partir de la base del ápice hasta la punta del racimo, mientras que en el diámetro se tomó el mayor encontrado de cada muestra (Figura 2).

Figura 2. Longitud y diámetro del racimo



El diámetro característico (D_c) se determinó utilizando las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 expuestas a continuación, citadas por Carvajal *et. al.*, (2012):

$$D1 = (E1 + E2 + P)/3 \quad (1)$$

$$D2 = (E1 \cdot E2 \cdot P)^{1/3} \quad (2)$$

$$D3 = ((E1 \cdot E2 + E1 \cdot P + E2 \cdot P)/3)^{1/2} \quad (3)$$

$$Dc = (D1 + D2 + D3)/3 \quad (4)$$

2.2 Masa y contenido de humedad

La medición de la masa se realizó con el uso de una balanza analítica AE de 1 000 g de capacidad, con una precisión de 0.001 g. Para esto se eligieron 100 cápsulas determinando el promedio y desviación estándar.

Para determinar el porcentaje de humedad de las cápsulas se registró la masa fresca de todo el racimo, posteriormente se secaron las muestras en un horno, durante 48 horas a 60°C. Se registró la masa seca y con la Ecuación (5) se obtuvo el contenido de humedad.

$$Mc (\%) = \frac{(M - Ms)}{M} \cdot 100 \quad (5)$$

Donde Mc es el contenido de humedad, %; M es la masa fresca, kg; Ms es la masa seca, kg.

2.3 Ángulo de reposo

Para determinar el ángulo de talud o reposo, se usó un dispositivo (Figura 3) desarrollado en el DIMA, donde en un plano inclinado se lee el ángulo indicado por un nivel digital. Un conjunto de cápsulas se coloca sobre el dispositivo utilizando diferentes tipos de superficies como metal, caucho y madera (Cruz *et al.*, 2012 y 2014). En este caso también se realizó sobre una superficie de caucho rugoso, similar al material de las bandas transportadoras usados en algunos cabezales para el acarreo del material hacia la boca de la combinada.

Se levanta la superficie hasta que se comienza a deslizar el material, se toma la lectura indicada y se reporta como el ángulo de reposo del material a granel.

Figura 3. Determinación del ángulo de talud



2.4 Determinación del torque necesario para desprender las cápsulas

No se encontró metodología alguna para el cálculo de la fuerza, torque o potencia requerida para el desprendimiento de las capsulas de higuera mediante el uso de cepillos con cerdas flexibles, por lo tanto, se desarrolló un instrumento para determinar el torque.

Debido a que los cepillos son los que realizan la acción de peinar a la planta, se propuso un sistema mecánico para medir la fuerza necesaria para el accionamiento de los cepillos, tanto en vacío, como con carga (proceso de desprendimiento de las capsulas).

Se construyó una unidad desprendedora con características similares a la de un cabezal (Figura 4). Para el accionamiento de los cepillos se adaptó un motor eléctrico (350 rpm y 101 N·m) y mediante un torquímetro (MIKKEY TQR-50KF65) con capacidad de 588 N·m (Figura 5) se pudo determinar el torque necesario para el accionamiento del par de cepillos.

Figura 4. Unidad desprendedora de cápsulas.

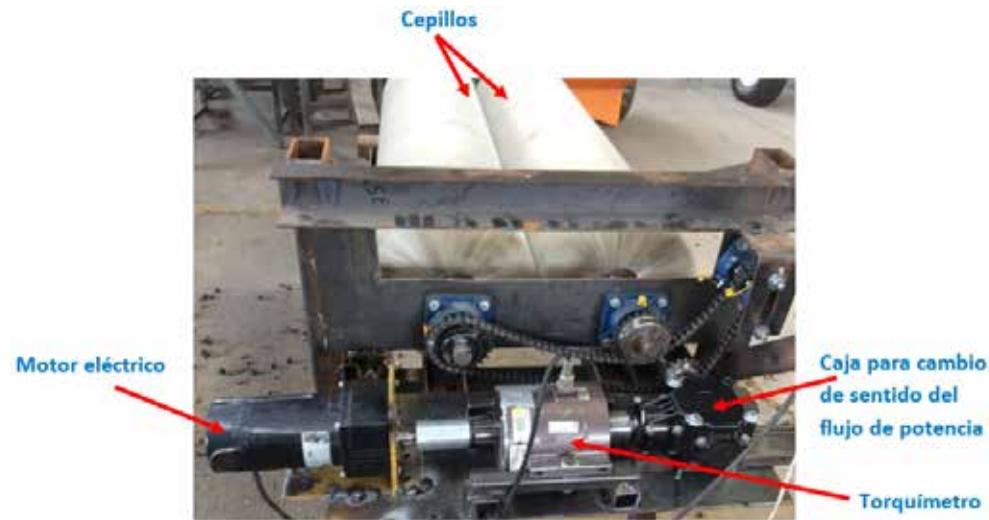


Figura 5. Torquímetro MIKKEY



Los elementos de la transmisión mecánica se acomodaron de forma lineal (Figura 6), para evitar el menor número de acoplamientos mecánicos y reducir las pérdidas de potencia en la transmisión.

Figura 6. Elementos utilizados para la determinación del torque



Se instrumentó un lector analógico de voltajes al torquímetro, acoplado a un amplificador digital (Figura 7).

Figura 7. Dispositivos utilizados para el registro de datos. Acondicionador eléctrico, amplificador digital y lector análogo (de izquierda a derecha).



Calibración del torquímetro

Para calibrar el torquímetro, se usó un banco de pruebas para la toma de fuerza de tractores agrícolas. Se fijó un extremo del dispositivo al banco, mientras que en el otro extremo se colocó una barra centrada y nivelada (Figura 8) con orificios a un metro de

distancia del centro. En uno de estos orificios se situó un contenedor para colocar pesas y obtener los datos relacionados entre la masa, distancia y el voltaje producido por el torquímetro.

Se utilizaron pesas con masas de dos y cinco kilogramos para la calibración, obteniendo 32 y 13 lecturas respectivamente.

Con los datos registrados y mediante una regresión lineal (Figura 9), se determinaron los coeficientes de calibración, construyendo así la Ecuación (6) que permite calcular el torque mediante un voltaje dado:

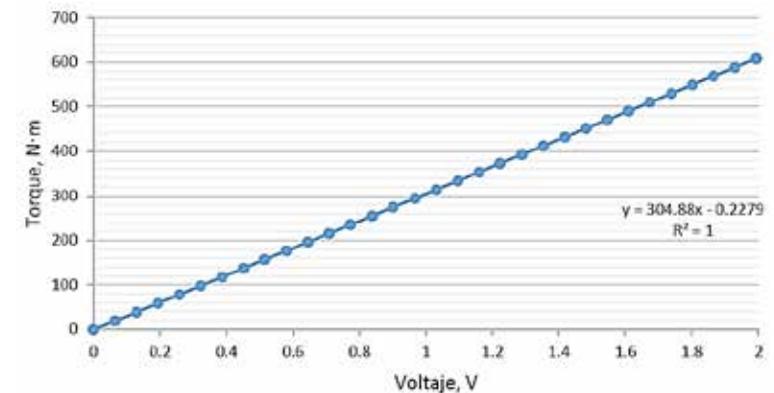
$$T = 304.88(V) - 0.2279 \quad (6)$$

Donde T es el torque, N·m; y V es el voltaje, V.

Figura 8. Calibración del torquímetro



Gráfico 9. Curva de comportamiento del torquímetro con pesas de 2 kg



Se obtuvo el torque para accionar los cepillos en vacío a 240 rpm, registrando el valor máximo al activar los cepillos en repetidas ocasiones. Para determinar el torque necesario para el proceso de peinado de las plantas se registraron los voltajes al momento de pasar las plantas entre los cepillos cilíndricos, durante este proceso se desprenden las cápsulas, hojas y algunas ramas (Figura 10). El voltaje medido varía en función del tamaño de la planta, número de ramificaciones, racimos y cantidad de follaje.

Figura 10. Proceso de peinado de las plantas



3. RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se resumen las propiedades físico-mecánicas obtenidas de las cápsulas de higuera. El ángulo de reposo a granel promedio sobre el caucho rugoso es de 33.51°, parámetro fundamental al momento de diseñar un sistema de transporte para este producto (Miravete *et al.*, 1996, 1998).

La humedad promedio obtenida en los racimos al momento de realizar las pruebas fue de 14.38% (Cuadro 2), de acuerdo a la literatura, para la cosecha del fruto debe tener un contenido de humedad menor del 45% (Scholz y Nogueira, 2006) o bien cuando el 80% de las capsulas presentan un color café (Hernandez *et al.*, 2012), por lo que las pruebas se realizaron en condiciones óptimas en cuanto a humedad.

Cuadro 1. Propiedades físico-mecánicas de las cápsulas de higuera

Estadística	Parámetro					
	Ángulo de reposo a granel (°)				Masa (g)	Densidad (kg · m ⁻³)
	Metal	Madera	Caucho	Caucho rugoso		
Promedio	20.8	25.87	31.69	33.51	1.88	322.40
Desv. Est.	2.55	2.85	1.81	1.65	0.40	27.61
C.V.	0.12	0.11	0.06	0.05	0.21	0.08
Máximo	25.00	30.10	34	35.10	2.58	381
Mínimo	17.90	21.00	29.00	30.40	0.54	295.00

Cuadro 2. Propiedades físicas del racimo de higuera

Estadística	Parámetro		
	Diámetro, mm	Largo, mm	Humedad, %
Promedio	138.46	592.66	14.38
Desv. Est.	25.38	105.20	1.75
C.V.	0.18	0.18	0.12
Máximo	192.00	740.00	18.71
Mínimo	104.00	450.00	11.56

De un total de 35 plantas se obtuvo que el torque promedio para peinar una planta es de 15.03 N·m, se puede ver que el valor de este parámetro es muy variado ya que está en función del tamaño y morfología de la planta (Cuadro 3). De acuerdo a la velocidad de rotación de los cepillos usada durante la experimentación (240 rpm o 25.13 s⁻¹) y el torque máximo registrado se concluye que la potencia de accionamiento mínimo debe ser de 611 W (~ 1 hp) por planta.

Cuadro 3. Propiedades físico-mecánicas de las plantas

Estadística	Parámetro	
	Altura, m	Torque para peinado, N·m
Promedio	189.48	15.03
Desv. Est.	26.10	4.76
C.V.	0.14	0.32
Máximo	235.00	24.33
Mínimo	136.00	6.75

La resistencia a la compresión de las capsulas también es un parámetro mecánico importante para el diseño de maquinaria, por lo que se recomienda revisar el trabajo realizado por Cruz *et al.*, (2012), Lorestani *et al.*, (2012) y Safieddin *et al.*, (2012).

4. CONCLUSIONES

Actualmente la higuierilla tiene un alto valor económico debido al contenido de aceite en sus semillas en comparación con otros cultivos oleaginosos, por lo que los expertos consideran que este producto tiene un gran potencial como fuente de energías renovables. Debido a la reciente introducción de la higuierilla como cultivo industrial en México, se carece de tecnologías adecuadas para facilitar los trabajos relacionados con la producción, principalmente en la cosecha y descascarado de las capsulas, por lo que la información obtenida de este trabajo facilitará el diseño de las maquinas involucradas en los procesos de producción, cosecha y limpieza de las semillas de higuierilla.

El objetivo principal del trabajo fue la de obtener el torque requerido para el desprendimiento de las capsulas mediante el empleo de un par de cepillos cilíndricos con cerdas flexibles que rotan en sentidos opuestos a ciertas revoluciones por minuto y, se concluye que este parámetro está en función del tamaño de la planta, numero de ramificaciones, numero de racimos, así como la cantidad de follaje verde.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro de Estandarización de Maquinaria Agrícola por las instalaciones y equipos de laboratorio otorgadas para la realización de este trabajo. De igual manera, al Fondo Sectorial SAGARPA – CONACYT por el apoyo económico brindado durante el tiempo de la investigación como parte del proyecto No. 169049.

LITERATURA CITADA

Alcali, I. D. y Guven, O. (1990). Physical Property of Peanut in Turkey. *J. of AMA*, 2(3): 55-59.

Bouza, Y.; Martínez, A.; Mederos, D. y Pérez, P. (2007). Determinación de propiedades físico-mecánicas de los frutos del Nim relacionadas con la cosecha mecanizada por vibración. *Rev. Cien. Téc. Agrop.* 16(3):37-42.

Carvajal, J. J.; Aristizábal, I.D y Oliveros, C.E. (2012). Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia) durante su desarrollo y maduración. *Revistas de la Universidad Nacional de Colombia. DYNA*, Vol. 79, Núm. 173

Cruz, P.; García, S.; Márquez, C. y López, G. (2012). Determinación de las propiedades físico-mecánicas para el descascarado de las cápsulas de la higuierilla (*Ricinus communis* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(spe4), 644-649.

Cruz, P. (2014). Modelación del sistema de descascarado y limpieza de un prototipo descascarador estacionario de cápsulas de higuierilla. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Chapingo, México. 95 p.

Frazer, B. M., Verma, S. S. and Muir, W. E. (1978). Some Physical Properties of Faba Beans. *J. Agr. Eng. Res.*, 23: 53-57.

Gharibzahedi, S. M. T., Mousavi, S. M. and Ghahderijani, M. (2011). A Survey on Moisture-dependent Physical Properties of Castor Seed (*Ricinus communis* L.). *Aust. J. Crop Sci.*, 5(1): 1-7.

Hernández, M.; A. Zamarripa.; R. Teniente.; A. González.; J.L Solís. (2012). Guía técnica para la producción de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Jalisco. Folleto técnico No.1. INIFAP Campo Experimental Bajío. México. 43 p.

Ingle, S. S. and V. M. Nandedkar. (2013). Castor oil biodiesel an alternative fuel for diesel in compression ignition engine. *Journal of Mechanical and Civil Engineering.* 10-13

LoRESTANI, A.; Jaliliantabar, F. y Gholami, R. (2012). Physical and mechanical properties of castor seed. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods.* 4(5):29-32.

Miravete, A.; E. Larrodé.; L. Castejón.; J. Cuartero. (1998). Los transportadores en la ingeniería industrial (teoría). Reimpresión 2002. Editorial Reverté. Barcelona, España. 600 p.

Miravete, A.; E. Larrodé. (1996). Transportadores y elevadores. Editorial Reverté. Reimpresión 2004. España. 425 p.

Oje, K. and Ugbor, E. C. (1991). Some Physical Properties of Oil Bean Seed. *J. Agr. Eng. Res.*, 50: 305 313.

Olaoye, J. O. (2000). Some Physical Properties of Castor Nut Relevant to Design of Processing Equipment. *J. Agr. Eng. Res.*, 77(1): 113–118.

Safieddin, M.; Najafi, G.; Ghobadian, B. y Tavakkoli, T. (2012). Determination of

Some Mechanical Properties of Castor Seed (*Ricinus communis L.*) to Design and Fabricate an Oil Extraction Machine, Journal of Agricultural Science and Technology, 14(6):1219-1227.

Secretaria de Energía (SENER). (2011). Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. México.

Sistema Nacional de Información de Investigación y Transferencia de Tecnología (SNIIT). (2012). <http://www.snitt.org.mx/>

Scholz, V. and J. Nogueira da Silva. (2007). Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. Biomass and bioenergy. 32:95-100.

Mauro Sierra Macías¹, Flavio Rodríguez Montalvo^{1*}, Pablo Andrés Meza², Noel Gómez Montiel², Alejandro Espinosa Calderón³, Margarita Tadeo Robledo⁴, Sabel Barrón Freyre⁵

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES SINTÉTICAS DE MAÍZ PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

ABSTRACT

With the main objective of knowing the yield and agronomic traits of synthetic maize varieties for the tropic, during 2013 to 2016 there were conducted an experiment under blocks at random design with 21 entries and two replications in plots of two rows 5m long and 80 cm wide and 62,500 plants per hectare. The traits registered were: Yield, days to tassel and silking, lodging, ears with bad husk cover and ear rot. From the combined analysis from grain yield, there was found high significant differences for varieties (V), environments (E), and for the interaction VxE, and a coefficient of variation of 17.02%. In relation with grain yield, 10 synthetics maize varieties fueron superiores to 0.05 of de probability, among them: Synthetic 3B, which has been proposed for official register like VS-563 y VS-536, which is the most used maize variety in the southeast of México.

¹ Investigador del programa de maíz Campo Experimental Cotaxtla CIRGOC INIFAP. * Autor para correspondencia: sierra.mauro@inifap.gob.mx; mauro_s55@hotmail.com

¹ Universidad Veracruzana

² Campo Experimental Iguala CIRPAS INIFAP

³ Campo Experimental Valle de México CIRCE INIFAP

⁴ Universidad Nacional Autónoma de México

⁵ Campo Experimental Huimanguillo CIRGOC INIFAP

Key words: Synthetic varieties, tropic, *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada, valor de la producción y ocupar el 20% de la población económicamente activa. El uso principal es como consumo directo en sus diferentes formas en la alimentación humana. Se reporta un consumo *per cápita* aparente de 209.8 kg. (Morris y López, 2000). La superficie nacional en los últimos años es de alrededor de 8.2 millones de hectáreas, con una producción de 22 millones de toneladas de grano, de las cuales se utilizan para el consumo directo 12.3 millones de toneladas; de estas, el 36% es a través de la industria harinera y 64% a través de la industria de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización; Sin embargo, año con año se importan de 5 a 7 millones de toneladas de grano amarillo para la industria de alimentos balanceados. (Betanzos *et al.*, 2003; SAGARPA, 2012). Del maíz se obtiene el 59% de la energía y el 39% de la proteína que ingiere el mexicano.

En la región tropical se siembran 3.2 millones de hectáreas de maíz, de las cuales un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad (Sierra *et al.*, 2004), donde es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas (Gómez, 1986; Sierra *et al.*, 1992a; Vasal *et al.*, 1992a; Vasal *et al.*, 1992b; Sierra *et al.*, 2014; Sierra *et al.*, 2001; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2004a). El cultivo de maíz se ve afectado por diversos factores bióticos y abióticos; entre ellos, enfermedades foliares, pudriciones de mazorca y estrés hídrico. Estos factores, aunados al limitado uso de semillas mejoradas, se ven reflejados en bajos rendimientos, los cuales no superan las 2 t ha⁻¹ como promedio regional.

En México existen 31 millones de personas con desnutrición, de los cuales 18 millones padecen desnutrición severa (Espinosa *et al.*, 2006), se trata de diez millones de indígenas y el resto es población urbana de bajos ingresos. De estos, el 50% corresponden a niños menores de 5 años de las áreas rurales y el 30 % de los de las urbanas (Chávez y Chávez, 2004; Espinosa *et al.*, 2006). En este marco, el consumo generalizado de los maíces de alta calidad de proteína puede mejorar el nivel nutricional en México, de manera especial en niños, mujeres lactantes y ancianos (Espinosa *et al.*, 2005).

El maíz con alta calidad de proteína se deriva del aprovechamiento del gene mutante opaco o2o2, expresado en su versión homocigótica recesiva con mayor contenido de Lisina y Triptofano, aminoácidos esenciales en la alimentación (Mertz, 1994). Por su parte, Vasal y Villegas (2001), mediante técnicas de mejoramiento tradicionales incorporaron genes especiales al maíz opaco o2o2 llamados genes modificadores de la

textura del endospermo. Estos genes modificadores confieren al endospermo una textura de grano más dura que el maíz opaco, dando la apariencia del maíz normal (Vasal, 1994). Larkins *et al.*, (1994) indicaron que, los maíces con el gene o2o2 contienen de 40 a 50% más Lisina y de 35 a 40% más Triptofano (Sierra *et al.*, 2011).

Las variedades sintéticas de maíz ofrecen la ventaja de mayor adaptabilidad a las condiciones de clima, suelo y manejo por parte de los agricultores, además, pueden ser usadas por varios ciclos de siembra sin que se afecte el rendimiento de grano, también es más fácil la producción de su semilla, Reyes (1985); Así también, son una forma de aprovechar el buen rendimiento *per se* de líneas endogámicas y su aptitud combinatoria general para obtener variedades de alto rendimiento y amplia adaptación. Sprague (1955) define las variedades sintéticas como las generaciones avanzadas de un híbrido múltiple siendo este formado por más de cuatro líneas e incrementado después por polinización libre. También se define como aquella que se mantiene por polinización libre, después de su síntesis por hibridación en todas las combinaciones entre un número de genotipos seleccionados.

En relación con el número óptimo de líneas Busbice, (1970), señaló que el número de líneas para formar una variedad sintética depende del nivel de endogamia de los progenitores, necesitándose mayor número de líneas cuando estas son muy endocriadas. Por su parte, Ortíz, (1961), encontró que el número óptimo de líneas para formar sintéticos es entre 8 y 12 líneas. Reyes (1985), cita que una variedad sintética es producida entrecruzando en todas sus combinaciones híbridas posibles un número de líneas seleccionados por su buena aptitud combinatoria general con el subsecuente mantenimiento de la variedad por polinización libre.

Con respecto a la predicción del rendimiento de las variedades sintéticas, varios investigadores han usado la fórmula de Wright descrita por Sprague (1955), de la siguiente manera:

$$F_2 = F_1 - \frac{F_1 - p}{n} \quad \text{donde,}$$

F_2 = Estimación del comportamiento del sintético

F_1 = Comportamiento medio de todos los híbridos simples posibles entre las líneas progenitoras que intervienen

p = Comportamiento medio de las líneas progenitoras

n = Número de líneas progenitoras incluídas

La adaptabilidad de los genotipos permite conocer la respuesta a los diferentes

ambientes definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico por parte de los agricultores (Eberhart y Russell, 1966). La interacción genotipo ambiente es el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete diferentes ambientes (Márquez, 1992; Sierra *et al.*, 1992a; Reyes 1990).

La variedad sintética de maíz VS-536, se desarrolló durante 1984 al 2004, en el Campo Experimental Cotaxtla perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y se formó mediante la recombinación genética de nueve líneas endogámicas seleccionadas por su comportamiento *per se* y aptitud combinatoria general (ACG): Las líneas LE27 derivada de la población Braquíticos, LE36 de la población La posta, LE37 de Tuxpeño Opaco, LE73 Blanco Cristalino, formadas en el Campo Experimental Cotaxtla; D471, D-539, D368, del programa de maíz de Iguala, Gro., finalmente, OCOT2 y LRB14-413-7 líneas provenientes de los programas de Ocotlan, Jal., y Río Bravo, Tamps., respectivamente (Sierra *et al.*, 1992; Sierra *et al.*, 2016). La diversidad de origen genético y geográfico, particularmente Trópico húmedo y Trópico seco, le ha permitido a esta variedad sintética, mayor adaptabilidad a las diferentes condiciones de clima, suelo y manejo por parte de los agricultores y es la variedad de mayor uso en el sureste mexicano.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo fueron conocer el rendimiento y las características agronómicas de variedades sintéticas experimentales de maíz para el trópico

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2013, otoño invierno 2013/14 y primavera verano 2016 en las localidades Campo Experimental Cotaxtla en Veracruz y Huimanguillo en el estado de Tabasco con clima Aw1 y Am para cada localidad, respectivamente, las cuales, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1981), corresponden a los climas cálido húmedo y subhúmedo zonas representativas donde el cultivo de maíz es importante.

Germoplasma utilizado. El germoplasma de maíz utilizado en la presente investigación son variedades sintéticas experimentales formadas con líneas experimentales normal y con alta calidad de proteína, seleccionadas por su comportamiento *per se* y buena Aptitud Combinatoria General (ACG) y son pertenecientes a la raza Tuxpeño; Particularmente se incluyen 21 variedades sintéticas de las cuales 11 son sintéticos experimentales formados con líneas convertidas al carácter de alta calidad de proteína y para efectos de nomenclatura se le agregó la letra “C”.

Descripción de los experimentos. Durante el ciclo primavera verano 2013, otoño invierno 2013/14, y primavera verano 2016 se condujo un experimento de variedades sintéticas de maíz, fueron sembradas en parcelas de dos surcos de 5 m de largo separados a 80 cm, en una densidad de 62,500 pl ha⁻¹. Las malezas fueron controladas a base de Atrazina y se controlaron plagas del follaje durante el desarrollo del cultivo. La fertilización se hizo de acuerdo con las recomendaciones del INIFAP en cada localidad; Particularmente para localidad de Cotaxtla se utilizó la fórmula 161-46-00, aplicando todo el Fósforo y un tercio del Nitrógeno al momento de la siembra, usando Urea como fuente nitrogenada, el resto del Nitrógeno se aplicó en la etapa fenológica de amacollamiento al momento del atierre.

Variabes y registro de datos. Las variables registradas fueron días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, calificación de aspecto y sanidad de planta y de mazorca, utilizando una escala de 1 a 5 donde 1 es lo mejor y 5 lo peor, plantas acamadas, mazorcas con mala cobertura; a la cosecha se registraron las variables de rendimiento de grano, humedad de grano y mazorcas podridas.

Métodos estadísticos. Los diseños utilizados fueron bloques al azar con 21 tratamientos y dos repeticiones. Se realizó un análisis individual para cada experimento y un análisis combinado para rendimiento de grano de las variedades sintéticas en los cuatro ambientes de evaluación (Reyes, 1990). Las variables registradas fueron analizadas estadísticamente y la separación de medias fue a través de la DMS al 0.05 y 0.01 de probabilidad. Para caracterizar los sintéticos en función de su respuesta al ambiente, se usó la metodología de parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966); así también se obtuvieron los índices para cada ambiente de evaluación.

Resultados y Discusión

Del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano a través de cuatro ambientes de evaluación, se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para variedades (V), para Ambientes (A) y para la interacción VxA (Márquez, 1992; Sierra *et al.*, 1992a), con un coeficiente de variación de 17.02%, valor relativamente bajo que sugiere que los resultados obtenidos y el manejo de los experimentos es confiable (Reyes, 1990). Así también, la significancia en la interacción VxA, sugiere que el comportamiento de las variedades sintéticas a través de los ambientes de evaluación es diferente (Cuadro 1). La varianza mayor fue debida al factor Ambientes con un valor de 38.01, lo que sugiere que las localidades son significativamente diferentes y son importantes en el comportamiento de los sintéticos a través de los cuatro ambientes de evaluación (Reyes, 1990).

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado para rendimiento de grano de sintéticos experimentales de maíz en cuatro ambientes del trópico. CIRGOC 2016B

Fuente de variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fcalc	Ft0.05	Ft0.01
Variedades (V)	20	30.78	1.54	3.24**	1.7	2.10
Ambientes (A)	3	114.02	38.01	80.02**	2.7	4.02
Interacción VxA	60	60.35	1.01	2.13**	1.48	1.72
Error	80		0.475			

CV= 17.02%

B= Ciclo primavera verano; CV= Coeficiente de variación; Fcalc= Valor de F calculada; Ft0.05 y Ft0.01= F de tablas al 0.05 y 0.01 de probabilidad; **= Significancia para las fuentes de variación al 0.01 de probabilidad.

Rendimiento de grano. Con relación al rendimiento de grano (Cuadro 2), se encontró un grupo de 10 sintéticos de maíz estadísticamente superiores al 0.05 de probabilidad, entre ellos: Sintético 3B, propuesto para su liberación oficial como VS-563, la VS-536, variedad sintética de mayor uso en el sureste de México (Sierra *et al.*, 1992; Sierra *et al.*, 2016), Sintético 2B, el Sintético 1BQ, los sintéticos Sintético 2C, Sintético 7C, con alta calidad de proteína y el Sintético 5B. Lo anterior sugiere que existen variedades sintéticas que son factibles de usarse por los agricultores maiceros en el sureste de México (Sierra *et al.*, 2004), donde es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas (Gómez, 1986; Sierra *et al.*, 1992; Vasal *et al.*, 1992a; Vasal *et al.*, 1992b; Sierra *et al.*, 2014; Sierra *et al.*, 2001; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2004a) y aprovechar las ventajas en rendimiento, adaptación y sobre todo que dichas variedades pueden ser usadas por varios ciclos de siembra sin que se afecte el rendimiento además de que es más fácil la producción de su semilla (Sprague, 1955; Busbice, 1970; Ortíz, 1961; Sierra *et al.*, 1992; Reyes, 1985; Sierra *et al.*, 1992). De acuerdo con los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966), se encontraron 20 variedades estables y una SINTETICO-3SEQ registró respuesta mejor en buenos ambientes pero inconsistente; particularmente se encontraron 10 variedades sintéticas que fueron sobresalientes en rendimiento de grano al 0.05 de probabilidad y que además fueron caracterizados como estables lo que los define como variedades “Deseables” entre ellas: SINTETICO 3B, VS-536, de mayor uso en el sureste mexicano, SINTETICO 2B, SINTETICO 5B, SINTETICO 1BQ, SINTETICO 2C, SINTETICO 7C, SINTETICO 8C, SINTETICO 9C y SINTETICO 10C (Márquez, 1992; Sierra *et al.*, 1992a; Reyes 1990). De estos sintéticos los últimos 6 se formaron con líneas convertidas al carácter de alta calidad de proteína lo que representa también un valor agregado para estos sintéticos (Chávez

y Chávez, 2004; Espinosa *et al.*, 2006; Espinosa *et al.*, 2005; Mertz, 1994; Vasal, 1994; Larkins *et al.*, 1994; Vasal y Villegas, 2001; Sierra *et al.*, 2011)

Índices ambientales. En cuanto a los índices ambientales Eberhart y Russell (1966), fueron los ambientes de Cotaxtla, Ver., 2014A y Cotaxtla 2016B, los que registraron los más altos rendimientos de grano promedio con 4.67 y 5.06 t ha⁻¹, para cada ambiente, respectivamente, con índices ambientales de 0.62** y 1.01**, altamente significativos y diferentes en relación con el resto de los ambientes; por el contrario, los ambientes de Cotaxtla, Ver. 2013B y Huimanguillo, Tab. 2016B, tuvieron los rendimientos promedio más bajos e índices ambientales negativos. Lo anterior, sugiere que existen diferencias importantes en los ambientes de evaluación en cuanto a clima, suelo y manejo agronómico (Cuadro 3).

Cuadro 2. Rendimiento de sintéticos de maíz en cuatro ambientes. CIRGOC 2016B.

Trat	Genealogía	Rendimiento t ha ⁻¹				Prom	Descripción
		Cotaxtla 2013B	Cotaxtla 2014A	Cotaxtla 2016B	Huimanguillo 2016B		
3	SINTETICO-3B	4.30	4.90	5.69	4.36	4.81*	E
20	VS-536	3.47	5.40	5.67	4.09	4.66*	E
2	SINTETICO-2B	3.75	5.40	5.58	3.44	4.54*	E
1	SINTETICO-1BQ	4.32	4.50	5.63	3.60	4.51*	E
14	SINTETICO-2C	3.80	4.70	4.85	4.67	4.50*	E
10	SINTETICO-7C	3.25	5.10	5.13	4.01	4.37*	E
5	SINTETICO-5B	3.75	5.20	6.17	2.21	4.33*	E
18	SINTETICO-8C	3.30	4.80	5.80	2.97	4.22*	E
13	SINTETICO-9C	3.15	4.70	5.34	3.62	4.20*	E
19	SINTETICO-10C	3.10	4.60	4.52	4.56	4.19*	E
17	SINTETICO-11C	3.75	5.40	5.82	1.25	4.06**	E
9	SINTETICO-4C	2.45	4.80	5.54	3.06	3.96**	E
16	SINT LPSC3	3.10	3.90	5.25	3.59	3.96**	E
4	SINTETICO-4B	3.90	4.90	4.13	2.53	3.86	E
7	SINTETICO-5C	4.00	3.50	4.90	2.87	3.82	E
21	V-537C	3.40	3.60	4.42	3.39	3.70	E
15	SINTETICO-3C	3.55	5.10	4.94	0.98	3.64	E
12	SINTETICO-1C	2.70	4.50	4.01	3.29	3.62	E
6	SINTETICO-6C	2.55	3.60	5.48	2.86	3.62	E

8	SINTETICO-3SEQ	2.40	5.30	3.15	2.40	3.31	BAI
11	SINTETICO-TS-6	2.70	4.10	4.19	1.91	3.23	E
	PROM	3.37	4.670	5.06	3.12	4.05	
	CME	0.40	0.47	0.35	0.68	0.475	
	CV (%)	16.05	13.12	11.74	26.43	17.02	
	DMS 05	1.24	1.37	1.24	1.63	0.69	
	DMS 01	1.64	1.82	1.69	2.16	0.91	

*= Significancia de los tratamientos al 05 de probabilidad; **= Significancia de los tratamientos al 01 de probabilidad; B= Ciclo primavera verano; Cotaxtla= Campo Experimental Cotaxtla; PROM= Promedio; CME= Cuadrado medio del error; CV= Coeficiente de variación; DMS= Diferencia mínima significativa; E= Variedad estable; BAI= Respuesta mejor en buenos ambientes pero inconsistente

Cuadro 3. Índices ambientales de sintéticos experimentales de maíz CIRGOC 2016B

Ambiente	Rend t ha ⁻¹	Índice ambiental
Cotaxtla, Ver. 2013B	3.37	-0.68
Cotaxtla, Ver. 2014A	4.67	0.62**
Cotaxtla, Ver. 2016B	5.06	1.01**
Huimanguillo, Tab. 2016B	3.12	-0.93
Promedio	4.05	

A= Ciclo otoño invierno; B=Ciclo primavera verano; Rend t ha-1=Rendimiento de grano

Características agronómicas. Por lo que se refiere a las características agronómicas los sintéticos experimentales sobresalientes registraron de 51 a 53 días a floración masculina, es decir son de ciclo intermedio, altura de planta baja de 187 a 232 cm, lo que les permite de manera física un menor momento que se ejerce sobre el brazo de palanca y les permite de manera natural mayor tolerancia al acame provocado por los vientos, con buen aspecto de planta y de mazorca, con tolerancia a la pudrición de mazorca. Particularmente, el sintético 3B, que fue sobresaliente en rendimiento de grano a través de los cuatro ambientes de evaluación, presenta 30 cm menos en cuanto a la altura de planta registrada por VS-536, variedad sintética de mayor uso en el sureste de México, con la ventaja respectiva en la tolerancia al acame (Cuadro 4)

Cuadro 4. Características agronómicas de sintéticos experimentales de maíz. Cotaxtla 2016B

Trat	Genealogía	FM	AP	Asp pl ^{1/}	Asp mz ^{1/}	% Pod
1	SINTETICO-1BQ	53	205	2.5	2	5.4
2	SINTETICO-2B	52	205	2.5	2.33	5.9
3	SINTETICO-3B	52	202	2.5	2.83	5.7
4	SINTETICO-4B	52	208	2.33	2.33	6.8
5	SINTETICO-5B	53	213	2.16	2.17	7.8
6	SINTETICO-6C	53	192	2.66	2.83	4.5
7	SINTETICO-5C	52	187	2.66	2.67	7
8	SINTETICO-3SEQ	53	200	2.66	3	14
9	SINTETICO-4C	52	212	2.66	2.33	5.4
10	SINTETICO-7C	52	198	2.83	2.67	5.9
11	SINTETICO TS6	52	187	2.66	2.83	9
12	SINTETICO-1C	52	197	2.83	3	7.3
13	SINTETICO-9C	52	205	2.83	2.67	8
14	SINTETICO-2C	52	203	2.66	2.33	7.1
15	SINTETICO-3C	52	177	2.5	2.83	12
16	SINTLPSC3	51	210	2.5	2.67	7.2
17	SINTETICO-11C	52	192	2.66	2.67	6.1
18	SINTETICO-8C	52	187	2.5	2.5	10
19	SINTETICO-10C	53	190	2.5	2.67	3.3
20	VS-536	53	232	2.33	2.5	4.5
21	V-537C	53	208	2.66	2.83	9.6
	Suma	1096.2	4210	54.09	54.66	152.5
	Promedio	52.20	200.48	2.58	2.60	7.26

1/= Escala de calificación de 1 a 5 donde 1 es lo mejor y 5 lo peor; FM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta en cm; Asp Pl= Aspecto planta; Asp Mz= Aspecto de mazorca; % POD= Porcentaje de mazorcas podridas

Calidad de proteína. Una muestra de sintéticos de maíz formados con líneas convertidas al carácter de alta calidad de proteína, entre ellos los sintéticos 1C, 2C, 4C y 5C, fueron analizados para conocer los contenidos de Lisina y Triptofano, dos aminoácidos esenciales para el crecimiento y desarrollo. Se encontró que estos sintéticos registraron de 36 a 55% más Lisina y de 62 a 106% más Triptófano en relación con el maíz normal (Sierra *et al.*, 2011). Lo anterior, sugiere que estos sintéticos son de alta calidad de proteína y representan una posibilidad de mejorar la nutrición de los mexicanos, especialmente en la población infantil, madres lactantes y personas de la tercera edad cuya alimentación base es el maíz. (Espinosa *et al.*, 2006; Espinosa *et al.*, 2005; Chavez y Chavez 2004; Mertz, 1994; Vasal, 1994; Larkins *et al.*, 1994; Vasal y Villegas, 2001).

Cuadro 5. Contenido de Lisina y Triptofano en sintéticos de maíz formados con líneas convertidas al carácter de alta calidad de proteína. Cotaxtla 2010B

Genotipo	% Lisina	% Relativo	Genotipo	% Triptófano	% Relativo
Sintético 1C	0.390	155	Sintético 5C	0.113	206
Sintético 5C	0.375	149	Sintético 1C	0.095	173
Sintético 2C	0.359	142	Sintético 4C	0.093	169
Sintético 4C	0.342	136	Sintético 2C	0.089	162
Media general	0.367			0.098	
Tuxpeño (normal)	0.252	100		0.055	100

B= Ciclo primavera verano; La nomenclatura de los sintéticos 1C, 2C, 4C y 5C para indicar calidad de proteína, indica que fueron formados con líneas convertidas al carácter de alta calidad de proteína

CONCLUSIONES

Se encontraron sintéticos experimentales con buen rendimiento y características agronómicas a través de los cuatro ambientes de evaluación

El Sintético 3B, es competitivo en rendimiento de grano y registra altura de planta baja lo que le permite mayor tolerancia al acame y está propuesto para su liberación oficial como VS-563

Dentro del grupo sobresaliente, se encontraron experimentales SINTETICO-1BQ, SINTETICO-2C, SINTETICO-7C, SINTETICO-5B, SINTETICO-8C, SINTETICO-9C y SINTETICO-10C con alta calidad de proteína y representan una posibilidad de mejorar la nutrición, especialmente la población infantil, madres lactantes y personas de la tercera edad cuya alimentación base es el maíz.

Las variedades sintéticas representan una alternativa de uso en la producción comercial de maíz en la región tropical en el sureste de México.

LITERATURA CITADA

Betanzos M., E.; Gómez M., N.; Ortega C., A.; Peña R., A.; Preciado O., R.E.; Ramírez D., J.L.; Velásquez C., G. 2003. Propuesta de reorganización del programa nacional de mejoramiento genético de maíz del INIFAP. Documento de trabajo. INIFAP. 66 p.

Busbice T., S. 1970. Predicting yield of synthetic varieties. *Crop sci.* Vol 10 p. 265-269

Chávez A, M de Chávez. (2004). La tortilla de Alto Valor Nutritivo. Mc Graw Hill. México, D.F. 110 p.

Eberhart S.A. and Russell W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40

Espinosa C., A.; N. Gomez M.; M. Sierra M.; E. Betanzos M.; F. Caballero H. (2006). Variedades e híbridos de maíz de Calidad Proteínica en México. *Ciencia*, Vol. 57 (3), 28-34.

Espinosa C., A.; N., Gómez M.; M., Sierra M.; F., Caballero H.; B., Coutiño E.; A., Palafox C.; *et al.* 2005. Los maíces de calidad proteínica y la producción de semillas en México. *Ciencia y Desarrollo*. p. 1-10

García E., 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. UNAM. 3ª ed. 252 p.

Gómez M.N. 1986. Aptitud combinatoria de maíces tropicales y subtropicales en la región de transición baja de Guerrero. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 8 (1): 3-19.

Larkins, B., A.; Danneoffer, D.,F.; Bostwick, E.,O.; Moro G.,A.; and M.A. López. (1994). Opaque 2 modifiers, what they are and how they work, In: *Quality protein maize. 1964-1994. Proc. of the international symposium on quality protein maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. December 1-3 1994, p. 133-148.*

Márquez S., F. 1992. La interacción genético ambiental en genotecnia vegetal. *In: Memorias del simposium interacción genotipo ambiente en genotecnia vegetal del 26 al 27 de marzo en Guadalajara, Jal., México.* p. 1-27

Mertz, E., T. (1994). Thirty years of opaque 2 maize. In: *Quality Protein Maize. 1964-1994. Proc. of Symp. of Quality Protein Maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas M. G. Brasil.* p 1-10.

Morris M.L.; y López P., M.A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. México D.F. CIMMYT 45 p.

Ortiz C., J. 1961. Determinación del número óptimo de líneas seleccionadas en la formación de variedades sintéticas. Tesis Profesional ENA, Chapingo, Texcoco, México

Reyes 1990. Diseño de experimentos aplicados. Ed trillas 3ª Ed. México D.F. 348p

Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor, México. 460 p.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2012) *Anuario estadístico de la producción agrícola de los estados unidos Mexicanos*. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Cons. 11/2014).

Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A., Palafox, C. A.; Espinosa, C., A. 2016. Adopción e impacto de la variedad sintética de maíz VS-536 en la región tropical del sureste de México. *Revista de Desarrollo Económico* Vol 3 (9): 32-40

Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A., Palafox, C. A., Gómez, M., N.; Espinosa, C., A. 2014. Síntesis histórica del mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. Cap. De Libro en Aportaciones en ciencias agronómicas y ambientales. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 20-30

Sierra M., M; Palafox c., A.; Rodríguez M., F.; Espinosa C., A.; Vásquez C., G.; Gómez M., N.; Barrón F., S. Sierra M., M; Palafox c., A.; Rodríguez M., F.; Espinosa C., A.; Vásquez C., G.; Gómez M., N.; Barrón F., S. 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas* Vol 2(1): 71-84.

Sierra M., M; Márquez S., F.; Valdivia B., R.; Córdova O., H.; Lezama G., R.; Pescador R., A. 2004a. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L). *Agric. Téc. Méx.* Vol 30 (2): 169-181

Sierra, M. M., Palafox, C. A., Cano, R., O., Rodríguez, M. F. A., Espinosa, C., A. Turrent, F., A. Gómez, M., N., Córdova, O., H., Vergara, A., N., Aveldaño, S. R., Barrón, F., S., Romero, M., J. Caballero, H., F., González, C. M. y Betanzos, M., E. 2001. Descripción varietal de H-519C, H-553C y V-537C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. INIFAP CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm.30. Veracruz, Ver., México. 21 p.

Sierra M., M., Rodríguez M., F.A; Castillo G.R; Márquez S., F. 1992a. La aplicación de los parámetros de estabilidad en el mejoramiento de maíz en la región sur de México. In: *Memorias del Simposium de interacción genotipo ambiente en genotecnia vegetal*.

Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). Guadalajara, Jal. p 239-260.

Sierra M., M; Rodríguez M., F; Castillo G., R; Preciado O., R.E. y Márquez S., F. 1992b. VS-536 variedad sintética de maíz para el trópico de Veracruz y regiones similares. Folleto Técnico Núm. 2 Campo Cotaxtla. SARH. INIFAP. CIRGOC. 11 p.

Sprague, G., F. 1955. Corn breeding in: Corn and corn improvement. Academic press. New york p. 255

Vasal, S., K. (1994). High quality protein corn. *In: Specialty corn*. A.R., Hallauer Ed. CRC press. Boca Ratón Fl. P 75

Vasal S., K. and Villegas E. 2001. The quality protein maize revolution. Improved nutrition and livelihoods for the poor. CIMMYT, El Batán Texcoco, Mex. 7p.

Vasal S., K; Srinivasan G. Crossa J. and Beck D.L.1992a. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early maturity maize germplasm. *Crop sci.* 32(4): 884-890.

Vasal S., K; Srinivasan G. Han C., and Gonzalez F. 1992b. Heterotic patterns of eighty eigh white subtropical CIMMYT maize lines. *Maydica* 37: 319-327.

Blanca Estela Orozco Alcalá¹, Héctor Gordon Núñez Palenius¹, Luis Pérez Moreno¹,
Mauricio Valencia Posadas², Libia Iris Trejo Téllez³, Fidel René Díaz Serrano¹,
Oscar Alejandro Martínez Jaime¹, María del Rosario Abraham Juárez⁴

INJERTO EN PIMIENTO MORRÓN: EFECTO DE LA SALINIDAD EN LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

ABSTRACT

This research was carried out, under greenhouse conditions, in the Life Sciences Division, University of Guanajuato, Irapuato, Guanajuato, during the 2016 spring-summer. The morphological behavior of red pepper (*Capsicum annuum* L.) grafted on Two rootstocks (E21R10144 and E21R10197), and treated with four electrical conductivities (2, 4, 6 and 8 dS · m⁻¹) was evaluated. The grafting was performed 30 days after sowing (das), the type of grafting was the splicing, and the seedling was established at 60 das, grafted plants were grown in a rock wool-hydroponic system. A factorial arrangement (3x4) with a completely randomized design, with 12 repetitions, was set up. The experimental unit was the red pepper plant. Variables such as plant height, stem diameter, leaf size (length and width), number of total and aborted flowers, weight of fresh and dry biomass of shoot and root were recorded. In general, as the electrical conductivity increases, the evaluated morphological parameters decrease; however, the Viper pepper plants grafted on the rootstock E21R10144 had the least damage in the variables.

¹Departamento de Agronomía, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda el Copal km 9 carretera Irapuato-Silao.36500. Irapuato, Guanajuato, México.

²Departamento de Medicina Veterinaria, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda el Copal km 9 carretera Irapuato-Silao.36500. Irapuato, Guanajuato, México.

³Edafología, Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

⁴Departamento de Alimentos, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda el Copal km 9 carretera Irapuato-Silao.36500. Irapuato, Guanajuato, México. correo-e: oralba80@yahoo.com.mx

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., conductividad eléctrica, portainjerto.

INTRODUCCIÓN

El pimiento es un cultivo de importancia económica para México, ya que parte de su producción, específicamente la de invierno (diciembre-junio), se exporta a Estados Unidos de América. De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en el 2016 las exportaciones de pimiento morrón se incrementaron un 36 %, alcanzando 285 mil 339 ton. Sin embargo, la producción es afectada por cualquier tipo de estrés, ya sea biótico o abiótico, el cual causa un desequilibrio en la homeostasis de la planta. El estrés causa pérdidas en la productividad de los cultivos, se estima que solamente un 10 % de la superficie agrícola no se encuentra sometida a algún tipo de estrés (Basurto *et al.*, 2008). La salinidad, como estrés abiótico, afecta negativamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos, entre ellos el pimiento. Comúnmente, la inhibición del crecimiento por la tensión de la sal está asociada a alteraciones en las relaciones del agua dentro de la planta, causada por efectos osmóticos con consecuencias iónicas específicas (exceso o déficit) o la disponibilidad de la energía relacionada con la concentración de carbohidratos (Mahajan y Tuteja, 2005; Lemoine *et al.*, 2013). Para sobrevivir, e incluso producir bajo condiciones de estrés salino, las plantas han desarrollado mecanismos anatómicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares que les confieren capacidad para resistir, evitar e incluso escapar a los estímulos ambientales negativos o poder permanecer bajo un estado particular de estrés sin que su metabolismo se vea afectado drásticamente (Bronwyn *et al.*, 2014). Por ejemplo, los injertos en la horticultura, son una alternativa de producción en donde parte de la planta (vástago) se une a otra (portainjertos) para que las dos partes crezcan juntas y formen una nueva planta (Warschefsky *et al.*, 2016); se aprovecha por una parte la tolerancia del sistema radicular de los portainjertos a los factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (salinidad) (Davis *et al.*, 2008); y por otra, de los caracteres productivos favorables de una variedad susceptible. El objetivo de este estudio fue determinar las características morfológicas del cultivo de pimiento morrón híbrido Viper, injertado en dos portainjertos y tratado con distintas conductividades eléctricas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) de la Universidad de Guanajuato, Irapuato, Guanajuato, bajo condiciones de invernadero (20°44'22" latitud norte, 101°19'45" longitud oeste y altitud de 1,750 m) tipo Baticenital de estructura metálica cubierto con plástico blanco (calibre 720 galgas), y una superficie

de 1,284 m², durante el desarrollo del experimento se cubrió con malla sombra de polipropileno de 30 % de sombreado. Como material vegetal se utilizó pimiento morrón híbrido Viper y como portainjertos, el E21R10144 y E21R10197; tanto la variedad, como los portainjertos pertenecen a la empresa ENZA ZADEN.

Producción de plántula. Las plantas se injertaron cuando los tallos, tanto del portainjerto como del híbrido, tenían 1.6 – 2.0 mm de diámetro, lo cual sucedió a los 30 días después de la siembra; el tipo de injerto fue de empalme (ángulo 45°). Las charolas con plantas injertadas se colocaron en un ambiente controlado, con una temperatura de 23 °C y una humedad relativa de 95 %. Se tuvo cuidado que no hubiese entrada de luz para evitar la actividad fotosintética e incrementar el prendimiento, lo cual se vería con la presencia del callo de diferenciación, para lograr tal fin se cubrieron las charolas con mantas color oscuro. Al octavo día de haber realizado el injerto se colocaron las plantas injertadas en el semillero, y a los 21 días se realizó el trasplante. Las condiciones del semillero (temperatura y humedad relativa) se controlaron continuamente con el objetivo de evitar cambios bruscos que pudieran dañar a las plántulas. El proceso de producción de plántula injertada y acondicionamiento tiene una duración de 60 días. En lo que respecta a la nutrición de las plántulas, se les regó con una solución Steiner del 25 al 50 % (Steiner, 1984); y se desinfectaron con una solución fungicida con 2 y 1 mL·L⁻¹ de Previcur® (Propamocarb) y Derosal® (Carbendazim), respectivamente. Además, se aplicó 1 mL·L⁻¹ de Confidor® (Imidacloprid) para prevenir la presencia de plagas.

Establecimiento del experimento. El experimento se estableció en un sistema hidropónico en agregado (lana de roca), a una densidad de 2.7 plantas·m⁻². Como fuente de nutrimentos se utilizó la solución nutritiva Steiner (1984), la cual tiene la siguiente concentración: 0.7, 0.9, 0.4, 1.2, 0.7 y 0.1 mol_c·m⁻³ de K⁺, Ca⁺², Mg⁺², NO₃⁻, SO₄⁻², H₂PO₄⁻, respectivamente, y se complementaba con una mezcla de micronutrimentos (11 mg·L⁻¹ de Fe-EDDHA, 1.7 mg·L⁻¹ de Mn, 0.12 mg·L⁻¹ de Cu, 1.09 mg·L⁻¹ de Zn, 1.8 mg·L⁻¹ de B y 0.12 mg·L⁻¹ de Mo). El pH de la solución se ajustó a 5.5 con ácido sulfúrico. Para calcular la cantidad de fertilizantes se consideró el aporte de iones en el agua de riego, cuya concentración se obtuvo realizando un análisis de agua. Los tratamientos de conductividad eléctrica 4, 6 y 8 dS·m⁻¹, se aplicaron con cloruro de sodio (NaCl), excepto la de 2 dS·m⁻¹. La cantidad de NaCl que se utilizó en cada tratamiento estuvo en función de su peso molecular y de la conductividad esperada. El riego se aplicó todos los días, tomando en cuenta el estado fenológico del cultivo, así como las condiciones ambientales, para lo cual se medían los drenajes de las plantas.

Diseño Experimental. Se empleó un diseño factorial con un arreglo completamente al azar, en donde se utilizaron dos factores, el portainjerto y la

conductividad eléctrica (3 x 4). El primer factor correspondió al portainjerto, el cual presentó tres niveles: híbrido Viper sin injertar (A; testigo), híbrido Viper injertado sobre portainjerto E21R10144 (B), Viper injertado sobre E21R10197 (C). Como segundo factor fue la Conductividad eléctrica (CE; dS·m⁻¹), la cual tuvo cuatro niveles: 2.0 (a; testigo), 4 (b), 6 (c) y 8 (d). El número de repeticiones por nivel fue de ocho. La unidad experimental consistió de una planta por cubo de lana de roca a una distancia de 1.50 m entre hileras y 0.25 m entre plantas.

Variables evaluadas. Se evaluó la altura de planta (AP; cm), diámetro de tallo (DT; mm) y tamaño de hoja [largo (LH), ancho (AH); cm]. Estas variables se evaluaron desde el inicio del establecimiento del cultivo y hasta una semana antes de terminar el experimento. Se medían cada siete días. En el caso de la altura de planta, fue a partir de la superficie del sustrato hasta la yema apical. Para el tamaño de la hoja, se evaluaba el largo y ancho de la hoja fotosintéticamente activa. La medición de altura de la planta y tamaño de hoja de la planta del pimiento se realizó con un flexómetro y para el diámetro un vernier tipo Scala. Se evaluó el número de flores totales (NF) y abortadas (FA) por planta, se realizó al final de la aplicación de los tratamientos.

También se midió el peso de la biomasa fresca y seca (g·planta⁻¹), estas variables se evaluaron separando la raíz del vástago (parte área) al final del ciclo de producción. Se utilizó una balanza granataria Mettler PJ6000 y después las plantas se secaron en una estufa Carsa Alley (ECN 383240) a 72 °C por 72 h, para luego volver a pesar y determinar la biomasa seca.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se analizaron mediante el análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) con el Statistical Analysis System (SAS, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza para las variables evaluadas mostraron diferencias significativas en el factor conductividad eléctrica, portainjerto y en su interacción (Cuadro 1). Los tratamientos aplicados a las unidades experimentales tuvieron efecto, es decir, tanto el estrés abiótico por salinidad (NaCl), como el tipo portainjerto (NI y tipo de portainjerto) que se utilizaron, afectaron las variables morfológicas.

Cuadro 1. Significancia para los parámetros morfológicos (altura de planta, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, número de flores totales y abortadas, biomasa fresca y seca de la parte aérea y raíz) en plantas de pimiento morrón Viper sin injertar e injertado en dos portainjertos, tratados con cuatro conductividades eléctricas.

Fuente de variación	Conductividad eléctrica	Portainjerto	Conductividad eléctrica X Portainjerto	Coefficiente de variación
Altura de planta	**	**	**	24.3
Diámetro de tallo	*	**	**	34.2
Largo de hoja	**	**	*	23.3
Ancho de hoja	**	**	**	25.8
Número de flores por planta	**	**	**	14.77
Flores abortadas por planta	*	**	**	44.44
Biomasa aérea fresca	**	**	**	34.39
Biomasa aérea seca	**	**	NS	40.7
Biomasa fresca de raíz	*	**	NS	31.89
Biomasa seca de raíz	NS	**	NS	30.44

NS=No significativo $P > 0.05$; *=Significativo $P < 0.05$; **= Altamente significativo $P < 0.01$

Al definir la tolerancia a la salinidad, como la capacidad que tienen las plantas de aguantar, sobrellevar o soportar o la capacidad productiva que tiene el cultivo a cierto nivel de sales (Taiz y Zeiger, 2002), se observó en la presente investigación que, al incorporar el cloruro de sodio, y aumentar la conductividad eléctrica afectó el crecimiento de la planta de pimiento, específicamente la altura de planta, diámetro de tallo, tamaño de hoja, ya que al realizar la separación de medias entre tratamientos por medio de la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), muestra que el nivel $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ de la conductividad eléctrica (testigo), presentó la mayor altura (62.45 cm), diámetro (4.49 mm), tamaño de hoja (20.48 cm de largo y 7.92 cm de ancho) en comparación con la de $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ la menor altura (53.48 cm) y la de $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ el menor diámetro (4.94 mm) y tamaño de hoja (15.83 cm de largo y 6.47 de ancho) (Cuadro 2), es decir, la altura de la planta disminuyó un 14.4 %, el diámetro de tallo un 12.25% y el tamaño de la hoja 22.7 y 6.5 % (largo y

ancho, respectivamente). Por lo tanto, al incrementarse las sales en la solución nutritiva, se redujeron estos parámetros morfológicos, por lo que concuerda con los resultados de Mata-Fernández *et al.* (2014), quienes mencionaron que los parámetros de crecimiento se reducen en condiciones salinas. También, se debe a que las plantas al estar sometidas a condiciones de estrés pierden agua de sus tejidos, lo que repercute en la expansión celular y en consecuencia en el tamaño de las hojas (Hsiao y Xu, 2000).

Cuadro 2. Parámetros morfológicos de la planta de pimiento Viper evaluado con cuatro conductividades eléctricas y cultivado bajo condiciones protegidas de abril a septiembre del 2016.

Conductividad eléctrica ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	AP ^x (cm)	DT (mm)	LH (cm)	AH (cm)	FT	FA	Biomasa aérea ($\text{g} \cdot \text{pta}^{-1}$)		Biomasa raíz ($\text{g} \cdot \text{pta}^{-1}$)	
							Fresca	Seca	Fresca	Seca
2	62.4a ^y	4.49a	20.5a	7.9a	15.1a	2.2b	764.9a	140.5a	269.2a	60.2a
4	63.5a	4.27ab	19.2a	7.9a	13.8ab	2.8ab	686.4a	128.2a	248.8ab	57.9a
6	57.4b	3.94b	15.8b	6.5b	13.1b	2.9ab	611.7ab	109.5ab	231.3ab	52.0a
8	53.5c	4.02b	17.0b	6.5b	13.0b	3.4a	490.7b	91.7b	209.6b	48.1a

x AP: Altura de Planta; DT: Diámetro de tallo; LH: Largo de la hoja; AH: Ancho de la Hoja; FT: Flores Totales; FA: Flores Abortadas y valores con diferente literal por columna indican diferencias estadísticas con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

En lo que respecta al número de flores totales y abortadas por planta, la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) mostró que conforme se aumenta la conductividad eléctrica, se disminuye el número de flores en un 13.8 % y se incrementa el aborto de flores en un 54.6 % (Cuadro 2). Se puede apreciar una relación inversa entre el número de flores totales y las flores abortadas, ya que conforme se incrementa la CE, se disminuye el número de flores por planta y se incrementan las flores abortadas. Lo cual se debe a que las altas concentraciones de sales en el medio de cultivo afectan el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, al número de flores presentes, así como al aborto de las mismas, afectando drásticamente al número de frutos del cultivo de pimiento, lo que concuerda con De Pascale *et al.* (2003). Además, la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para biomasa fresca y seca de la parte aérea y de la raíz, indicó que al incrementar la CE de $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, a $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ se reduce un 35.8 y 34.7 % de la parte aérea y un 22.1 y 20.1 % en la raíz (fresca y seca, respectivamente). Datos que concuerdan con lo reportado por Muñoz-Ramos *et al.* (2004), quienes al evaluar el efecto de la salinidad (CE de $9 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) en el cultivo de

pimiento con tres fuentes de sales [NaCl, Na₂SO₄ y alta concentración salina (SNc)], encontraron una reducción en la biomasa fresca de 46, 33 y 50 %, respectivamente.

El injerto se considera un tipo especial de propagación de plantas, en donde dos plantas se unen para formar una nueva planta, con características genotípicas determinadas que influirán para decidir cuál es la que se situará en la parte aérea y cuál en el sistema radicular. Además, el portainjerto proporciona el vigor a la nueva planta (Jung-Myung Lee *et al.*, 2010; Warschefsky *et al.*, 2016). En la presente investigación, al evaluar las plantas no injertadas y las injertadas, se observaron diferencias altamente significativas para los parámetros morfológicos anteriormente mencionados, ya que la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) mostró que las plantas injertadas en el portainjerto E21R10144 presentó la mayor altura, diámetro y largo y ancho de hoja, comparadas con las plantas no injertadas y las del E21R10197 (Cuadro 3). El portainjerto le proporciona mayor vigor a la planta y afecta el crecimiento y desarrollo de la parte aérea, no obstante, es proporcional al tipo de patrón que se utilice, por lo que la tolerancia de los patrones al estrés abiótico varía entre genotipos (Lee y Oda, 2003; Aktas *et al.*, 2006).

Cuadro 3. Parámetros morfológicos de la planta de pimiento Viper sin injertar e injertado en dos portainjertos y cultivado bajo condiciones protegidas de abril a septiembre del 2016.

Portainjerto	AP ^x (cm)	DT (mm)	LH (cm)	AH (cm)	FT	FA	Biomasa aérea (g·pta ⁻¹)		Biomasa raíz (g·pta ⁻¹)	
							Fresca	Seca	Fresca	Seca
NI	89.7b ^y	4.38a	19.4a	7.6a	14.0a	3.4a	680.4a	126.0a	226.9b	54.77b
E21R10144	92.7a	4.59a	19.8a	7.8a	14.9a	1.4b	774.9a	143.8a	296.9a	65.54a
E21R10197	72.9c	3.58b	15.5b	6.2b	12.4b	3.7a	460.0b	82.7b	195.5b	43.34c

x AP: Altura de Planta; DT: Diámetro de tallo; LH: Largo de la hoja; AH: Ancho de la Hoja; FT: Flores Totales; FA: Flores Abortadas

y valores con diferente literal por columna indican diferencias estadísticas con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

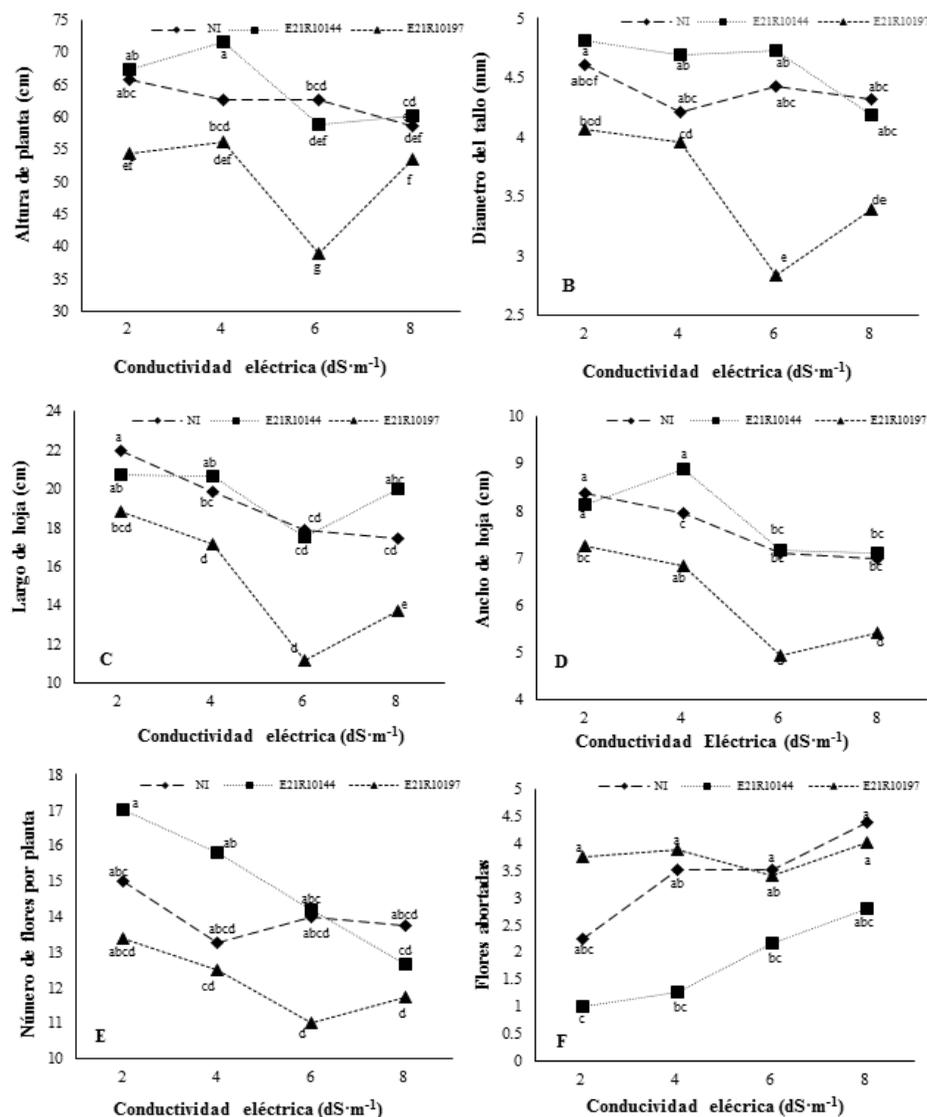
En lo que respecta al número de flores totales y abortadas por planta, la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), indicó que las plantas de pimiento injertadas en el portainjerto E21R10144 presentan el mayor número de flores por planta, y menor aborto; se observó un incremento de flores del 6.5% y un decremento de aborto del 58.8 % con respecto al testigo (NI). No obstante, las plantas injertadas en el E21R10197 fueron las que presentaron el menor número de flores comparadas con las NI y las injertadas en (Cuadro 3). Aunque los portainjertos son una excelente estrategia en la tolerancia de

estrés abiótico, está en función de la especie y genotipo, por lo que existen respuestas diferenciales (Roy *et al.*, 2014). En el peso aéreo y de raíz, se observó que las plantas injertadas en el E21R10144 presentaron los mayores valores, tanto en fresco como en seco, se debe a que este portainjerto presenta mayor vigor y tiene la capacidad de amortiguar el impacto de la salinidad (Colla *et al.*, 2010).

En cuanto a la interacción de la conductividad eléctrica con los portainjertos, también se encontraron diferencias significativas en altura de planta, diámetro de tallo, y tamaño de hoja. Al realizar la separación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$), se observa una relación inversa, es decir conforme se incrementa la conductividad eléctrica de 2 a 8 dS·m⁻¹ descienden los parámetros mencionados (Figura 1A, 1B, 1C, 1D); no obstante, el portainjerto E21R10144 se mantuvo constante, independientemente de la CE, además, presentó el mayor valor, por lo que la tolerancia al estrés salino se mejora mediante el injerto (Colla *et al.*, 2010), ya que las plantas injertadas en portainjertos tolerantes amortiguan el impacto a este tipo de estrés abiótico; no obstante, el E21R10197 fue el más perjudicado por el incremento de salinidad, por lo tanto la tolerancia a este estrés abiótico puede variar entre genotipos (Aktas *et al.*, 2006).

En lo referente al número de flores totales y abortadas, en la interacción “conductividad eléctrica x portainjerto”, se observó que al aumentar la conductividad eléctrica en el medio de cultivo, se disminuye el número de flores y aumenta el aborto de las mismas; sin embargo, el portainjerto que presentó las mejores características en cuanto al número de flores totales y menor cantidad de flores abortadas fueron las plantas de pimiento Viper injertadas en el E21R10144 (Figura 1E, 1F), lo que concuerda con Penella *et al.*, (2016), quienes mencionan que el pimiento injertado en portainjertos fuertes y vigorosos moderan el estrés salino, lo que repercute en el rendimiento de fruto. El propio injerto tiene un efecto de barrera porque restringe el transporte de iones de sales tóxicos desde las raíces a las hojas.

Figura 1. Parámetros morfológicos (A: Altura de planta; B: Diámetro del tallo; C: Largo de la hoja; D: Ancho de la hoja; E: Número de flores totales; F: Flores abortadas) de planta de pimiento Viper no injertado e injertado en dos portainjertos, evaluado con cuatro conductividades eléctricas y cultivado bajo condiciones protegidas de abril a septiembre del 2016.

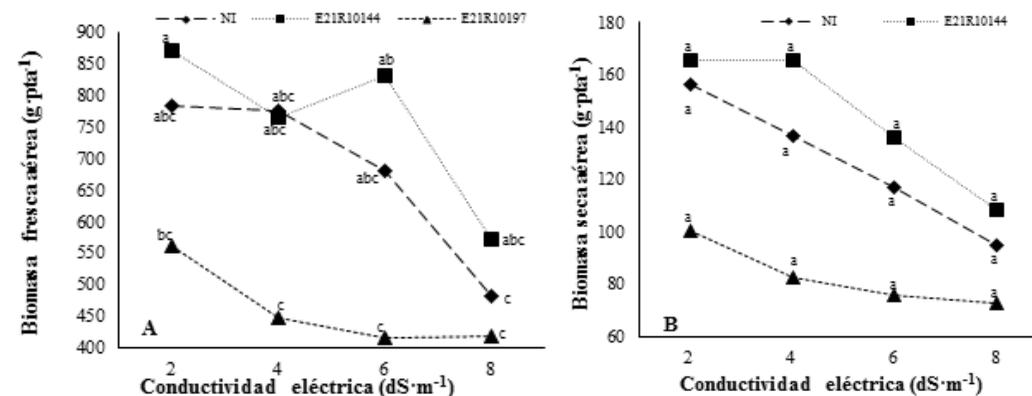


Los datos corresponden a las medias. En cada combinación de plantas, letras diferentes indican diferencias significativas en $P < 0.05$.

NI=No injertado; E21R10144= Portainjerto E21R10144; E21R10197= Portainjerto E21R10197

No se encontraron diferencias estadísticas en el peso de la biomasa seca de la parte aérea, ni en la fresca y seca de la raíz (Cuadro 1; Figura 2B, 2C, 2D). La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el peso de la biomasa aérea fresca mostró que, al incrementarse la concentración de sales en el medio de cultivo, se disminuye el peso fresco de la parte aérea; sin embargo, la reducción es proporcional al tipo de plantas de pimiento (no injertadas o injertadas). Además, las plantas sobre el portainjerto E21R10144, no presentaron diferencias significativas en las diferentes conductividades eléctricas (2 a 8 dS·m⁻¹) (Figura 2A). No obstante, en las no injertadas como las del E21R10197 el descenso es muy drástico, las plantas de Viper no injertadas disminuyen un 38.5 % y las del E21R10197 un 25.2 %. Por lo tanto, los injertos en patrones vigoroso presentan tolerancia al estrés abiótico, como es la salinidad, y representan una excelente alternativa para disminuir los efectos tóxicos, independientemente si son osmóticos o iónicos (Munns y Tester, 2008; Colla *et al.*, 2010; Munns y Gilliam, 2015).

Figura 2. Parámetros morfológicos (A: Biomasa fresca aérea; B: Biomasa seca aérea; C: Biomasa de raíz fresca; D: Biomasa de raíz fresca) de planta de pimiento Viper no injertado e injertado en dos portainjertos, evaluado con cuatro conductividades eléctricas y cultivado bajo condiciones protegidas de abril a septiembre del 2016.



Los datos corresponden a las medias. En cada combinación de plantas, letras diferentes indican diferencias significativas en $P < 0.05$.

NI=No injertado; E21R10144= Portainjerto E21R10144; E21R10197= Portainjerto E21R10197

CONCLUSIONES

La salinidad es un factor abiótico que afecta el crecimiento de la planta de pimiento morrón, debido a que se asocia al efecto osmótico y iónico, ya que disminuye el potencial

osmótico a consecuencia de las altas concentraciones de iones salinos, específicamente el sodio y el cloro.

El injerto en las hortalizas es una excelente opción para tolerar el efecto tóxico causado por la salinidad en el medio de cultivo y en el suelo, cuando son establecidas en éste.

En general, la morfología de la planta de pimiento, como es altura de planta, diámetro de tallo, tamaño de hoja, número de flores totales y abortadas fueron afectadas por las altas conductividades eléctricas en la solución nutritiva. Sin embargo, las plantas injertadas sobre el portainjerto E21R10144, presentaron las mejores características en cuanto a las variables anteriormente mencionadas, por lo que presenta una buena opción para establecerse en suelos con altas concentraciones de salinidad.

El portainjerto E21R10144 presentó la mayor altura (71.71 cm), diámetro (4.81 mm), ancho de la hoja (8.88 cm), número de flores (17) y el menor aborto de flores (1) por planta. Además, el peso fresco de la biomasa aérea fue mayor (870 g.pta⁻¹) comparadas con las plantas no injertadas y la de E21R10197.

PERSPECTIVAS

Es importante continuar realizando estudios que determinen qué mecanismos genéticos, bioquímicos y fisiológicos están implicados en la tolerancia a la salinidad en el cultivo de pimiento morrón.

AGRADECIMIENTOS

A la División de Ciencias de la Vida (DICIVA), del Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato (DICIVA-CIS-UG), Irapuato Guanajuato, por el apoyo otorgado para la realización de la presente investigación.

A la empresa Enza Zaden, por proporcionarnos la semilla de pimiento, tanto del híbrido Viper como de los portainjertos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el otorgamiento de la beca de estudios de doctorado al primer autor.

LITERATURA CITADA

Aktas, H., Abak, K., Cakmak, I. (2006). Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Sci. Hortic.* 110:260 - 266.

Basurto, S.M., Núñez, B.A., Pérez-Leal, R.R., Hernández-Rodríguez, O.A. (2008). Fisiología del estrés ambiental en plantas. *Aventuras de pensamiento*. Ed. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.45:1-5.

Bronwyn, J.B., Vera-Estrella, R., Balderas, E., Pantoja, O. (2014). Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotecnología* 14:263-272.

Colla, G., Roupael, Y., Leonardi, C., Bie, Z. (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Sci. Hortic.* 127 147–155.

Davis, A.R., Perkins-Veazie, P., Dakata, Y., Lopez-Galarza, S., Maroto, J.V., Lee, S.G., Hyh, Y.C., Sun, Z., Miguel, A., King, S.R., Cohen, R., Lee, J.M. (2008). Cucurbit grafting. *Crit. Rev. Plant Sci.* 27: 50–74.

De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G. (2003). Physiological responses of pepper to salinity and drought. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128: 48–54.

Hsiao, T.C., Xu, L.K. (2000). Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany* 51: 1595–616.

Jung-Myung Lee, Kubota, C., Tsao, S.J., Bie, Z., Hoyos Echevarria, P., Morraf, L., Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Review. Scientia Horticulturae* 127: 93–105.

Lee, J.M., and Oda, M. (2003). Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hortic. Rev.* 28: 61-124.

Lemoine, R., La Camera, S., Atanassova, R., Dédaldéchamp, F., Allario, T., Pourtau, N., Bonnemain, J.L, Laloï, M., Coutos-Thévenot, P., Maurousset, L., Faucher, M., Girousse, C., Lemonnier, P., Parrilla, J. And Durand, M. (2013). Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Front Plant Sci.* 4: 272.

Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139–158.

Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M.L., López-Blanco, J., Vela-Correa, G. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos. Vol. 1 (5): 26-35.

Munns, R. & Gilliham M. (2015). Salinity tolerance of crops—what is the cost? *New*

Phytologist 208: 668–673.

Munns, R.H. and M. Tester. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Biology. 59: 651-681.

Muñoz-Ramos, J.J.; Guzmán, M.; Castellanos, J.Z. (2004). Salinidad sódica en el desarrollo vegetativo y reproductivo del pimiento. Terra Latinoamericana, vol. 22, núm. 2, abril-junio, 2004, pp. 187-196 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México

Penella, C., Landi, M., Guidi, L., Nebauer, S.G., Pellegrini, E., San Bautista, A., Remorini, D., Nali, C., López-Galarza, S., Calatayud, A. (2016). Salt-tolerant rootstock increases yield of pepper under salinity through maintenance of photosynthetic performance and sinks strength. Journal of Plant Physiology. 193: 1-11.

SAGARPA. (2016). Productividad y competitividad agroalimentaria. Exportaciones de chile bell (y otros pimientos).

[http://sicagro.sagarpa.gob.mx/SICAGRO_CONSULTA/infoagroanual.aspx] y http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/POT_2016/Informe/CuartoInformeDeLabores_SAGARPA.pdf

SAS Institute Inc. SAS® 9.4 System Options: Reference, Second Edition Cary, NC: SAS Institute Inc.; 2012.

Steiner, A. (1984). The universal nutrient solution. *In*: Proceeding of Sixth International Congress on Soilless Culture. International Society For Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.

Taiz, L., Zeiger E. (2010). Plants Physiology. Fifth edition. Sinauer Associates Inc., Publisher. Sunderland, Massachusetts, USA. 782 p.

Warschefsky, E.J., Klein, L.L., Frank, M.H., Chitwood, D.H., Londo, J.P., Eric, J.B. et al. (2016). Review Rootstocks: Diversity, Domestication, and Impacts on Shoot Phenotypes. AJ. Trends Plant Sci. 21(5):418-37.

Nain Peralta Antonio, Andrés Rebolledo Martínez,
Alberto Enrique Becerril Román, David Jaén Contreras,
Marco Antonio Toral Juárez

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN MANGO: CALIDAD Y MACRONUTRIENTES EN FRUTOS

ABSTRACT

The objective of the study was to corroborate the hypothesis that organic fertilization in mango can equal the quality of fruit and nutrimental concentration of the mineral fertilization and overcome the non-fertilized trees. Fertilizers were applied: vermicompost, bokashi (BO) and poultry manure (PM) (5 and 10 t ha⁻¹), 150-0-200 and 150-0-0 kg ha⁻¹ and a control, in the cultivars Manila, Tommy Atkins and Ataulfo. Differences have been found between cultivars in the dimension, weight, firmness and total soluble solids (TSS) of fruits. Fertilization treatments influenced the equatorial diameter, weight, firmness, TSS, Mg and K concentration. Due to the fact that PM and BO only showed fruit weight equal to mineral fertilization and superior to the control, the hypothesis proposed at the beginning of the investigation is partially accepted.

Key words: Mangifera indica, Fruit weight, °Brix, Nutritional concentration, Potassium

INTRODUCCIÓN

En el sector agrícola de México, el cultivo de mango destaca como uno de los principales cultivos, por la superficie plantada y por la generación de divisas. Además, en diversas regiones productoras del país aumenta en interés por la producción orgánica de este frutal.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México, km 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz. C.P. 91700. E-mail: peralta.nain@inifap.gob.mx; rebolledo.andres@inifap.gob.mx; toral.marco@inifap.gob.mx Tel: 55 3871 8700 - Ext. 87210

² Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México-Texcoco, C. P. 56320, Texcoco, Estado de México. E-mail: becerril@colpos.mx; djaen@colpos.mx

Sin embargo, para el éxito de este sistema de producción, es necesaria la disponibilidad de tecnología eficaz que permita la producción de frutas en cantidad y calidad requerida por los consumidores.

Entre las prácticas agronómicas del cultivo de mango, la fertilización adquiere gran relevancia por su impacto en el crecimiento del árbol, producción de flores, rendimiento y calidad de frutos. Además de lo anterior, nuevos hábitos enfocados en alimentación sana y la preocupación por el medio ambiente, han originado la búsqueda de alternativas de nutrición agroecológicas para este frutal. Una opción para la fertilización de los árboles, es la incorporación de materia orgánica a través de abonos sólidos. Para el cultivo de mango, estudios de nutrición orgánica son reportados por Corrales *et al.* (2003), Santos (2007), Moyin-Jesu y Adeofun (2008), El-Motty *et al.* (2010), Kumar y Kumar (2013), Silva *et al.* (2013), Peralta-Antonio *et al.* (2014) y Peralta-Antonio *et al.* (2015). De los estudios citados, hasta el momento, se ha dado mayor énfasis a conocer el efecto de los abonos en el rendimiento y en el estado nutricional de las hojas.

Un número menor de estudios ha centrado su atención en la calidad de frutos, de los cuales, se ha reportado que la aplicación de diferentes dosis de lombricompost influencia el peso y las dimensiones del fruto, sólidos solubles totales, acidez titulable y concentración de vitamina C, además de influenciar las características del fruto también se reporta que las prácticas de fertilización orgánica influyen en su concentración de N, P y K (Corrales *et al.*, 2003). Por otra parte, también existen estudios donde no se ha encontrado ningún efecto de la aplicación de materia orgánica en forma de composta sobre las características del fruto (Silva *et al.*, 2013). Es de esperarse que los efectos de los fertilizantes orgánicos sean diferentes en función de las fuentes de fertilización, dosis de aplicación, variedad y alternancia de los árboles mango (Saran y Kumar, 2011; Mellado-Vásquez *et al.*, 2012).

Con base en lo anterior, se realizó el presente estudio, con el objetivo de determinar el efecto de tres abonos orgánicos, sobre la calidad y la concentración de N, K, Ca y Mg en las diferentes partes del fruto, de tres cultivares de mango. El trabajo partió con la hipótesis de que al menos un abono orgánico estimulará frutos con dimensión, peso, firmeza, contenido de sólidos solubles totales y concentración nutrimental similar a los obtenidos en árboles fertilizados con la dosis mineral tradicional y mayores a los árboles no fertilizados.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en la región costera central de Veracruz, en las instalaciones del Campo Experimental Cotaxtla (INIFAP), localizado a 18.936888°N, 96.194162°W. El suelo es Vertisol pélico con pendiente de terreno menor al 3%, las características del

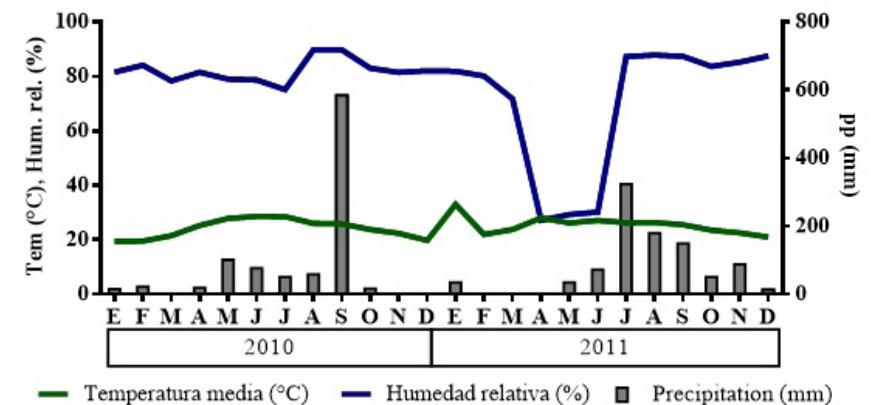
suelo durante el periodo de evaluación (2011) se muestran en la Tabla 1. Durante el periodo de estudio el comportamiento del clima se presenta en la Figura 1.

Tabla 1. Características de pH, materia orgánica (MO) y nutrientes en suelo plantado con tres cultivares de mango, manejados con diferentes tratamientos de fertilización, en la profundidad de 0 – 40 cm, en la región costera central de Veracruz, México, durante 2011.

Ph	MO (%)	mg kg ⁻¹								
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
6.5	2.0	17.1	18.4	303.1	2568.2	461.8	1.6	1.5	23.1	15.3

Los factores de variación fueron los cultivares de mango y los tratamientos de fertilización. Tres cultivares de mango fueron utilizadas en la investigación: ‘Manila Cotaxtla 2’ (en adelante se nombrará como ‘Manila’), ‘Tommy Atkins’ y ‘Ataulfo’. Establecidos en campo en noviembre de 2006, con distanciamientos de 6 x 2.5 m. Los tratamientos de fertilización fueron: lombricompost, bokashi y gallinaza en dosis de 5 y 10 t ha⁻¹ (equivalente a 7.5 y 15 kg por árbol), se compararon con las dosis minerales 150-0-200 ha⁻¹ de N-P-K (dosis utilizado tradicionalmente en la región de estudio) y 150-0-0 kg ha⁻¹ de N-P-K y con un tratamiento testigo (sin fertilización). Las características de los diferentes fertilizantes orgánicos se presentan en la Tabla 2. El diseño utilizado fue en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, siendo la parcela grande el cultivar y la parcela chica los tratamientos de fertilización. Se utilizaron tres repeticiones, considerando un árbol como unidad experimental.

Figura 1. Comportamiento de la temperatura media, precipitación mensual y humedad relativa en la región costera central de Veracruz, México, durante el periodo 2010-2011.



La fertilización de los árboles inició en septiembre de 2009, durante ese año las aplicaciones se realizaron en la periferia de la copa, para lo cual se efectuaron excavaciones de aproximadamente 20 cm de ancho por 10 cm de profundidad, en donde se depositaron los fertilizantes y se procedió a cubrirlos. A partir de 2010, los fertilizantes se distribuyeron uniformemente en toda el área bajo la copa, en los primeros 10 cm de profundidad y se cubrió con suelo. Durante la época seca (diciembre a mayo) todos los árboles fueron irrigados con 54 mm de agua, a través de riego rodado, cada 20 días. El control de maleza se realizó de forma mecánica y manual, bimestralmente.

Tabla 2. Características de tres fertilizantes orgánicos empleados en la nutrición de tres cultivares de mango, en Veracruz, México.

Abonos orgánicos	pH	MO (%)	mg kg ⁻¹								
			N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Gallinaza	7.17	34.14	3220.00	10613.00	13673.00	1362.00	1361.00	64.72	31.78	27.20	66.28
Lombricompost	4.74	6.68	3115.00	214.21	3466.00	9010.00	1313.00	94.31	1.90	9.99	37.27
Bokashi	7.31	28.81	322.00	894.00	12356.00	6020.00	2713.00	35.77	4.06	19.11	53.72

Cuando los frutos alcanzaron el estado de madurez fisiológica, fueron colectados ocho frutos de cada árbol, se trasladaron al laboratorio de postcosecha del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y se mantuvieron en condiciones de temperatura ambiente (20 ± 1 °C) durante ocho días, periodo en el cual alcanzaron la madurez de consumo. Con un vernier, se midió diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto. En la fase de madurez fisiológica y madurez de consumo del fruto fueron medidos las siguientes características: peso individual del fruto, firmeza del fruto (con un texturómetro MODEL FDV-30 y un puntal cónico de diámetro de 0.7 mm) y contenido de sólidos solubles totales (a través de la metodología AOAC. (1990).

En frutos que se encontraban en el estado de madurez fisiológica se determinó la concentración de N, K, Ca y Mg. Para medir la concentración de N se utilizó el método Kjeldahl, el K se midió por flamometría y para la cuantificación de los elementos Ca y Mg se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica. Los frutos colectados para tal propósito, se diseccionaron en sus diferentes componentes: Cáscara, semilla (testa + cotiledones y embrión) y pulpa. Se tomó 20 g en fresco de cada componente y fueron secados en una estufa con ventilación forzada a 70 °C hasta alcanzar peso constante. Las muestras secas se molieron con un molino tipo Wiley con malla de 30 micras.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a digestión húmeda con una mezcla de ácidos nítrico y perclórico en relación 2:1.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza y separación de medias de Tukey (HSD) con un nivel de $P \leq 0.05$ realizados con el programa estadístico SAS 9.0.

RESULTADOS

Dimensiones, peso, firmeza y contenido de sólidos solubles totales

Entre cultivares se observó diferencias en la dimensión del fruto, el diámetro polar de frutos de ‘Tommy Atkins’ y ‘Manila’ fueron iguales y ambos superiores al de ‘Ataulfo’. Para el diámetro ecuatorial, los frutos de ‘Tommy Atkins’ superaron al de ‘Ataulfo’, quien a su vez, superó al de ‘Manila’. En cuanto a los tratamientos de fertilización, solo existió diferencias en el diámetro ecuatorial, en donde, los árboles no fertilizados produjeron frutos con diámetro ecuatorial similar a los producidos en árboles fertilizados con bokashi 10 t ha⁻¹, gallinaza 10 t ha⁻¹ y 150-0-200 kg ha⁻¹ de N-P-K y superiores a los frutos obtenidos de árboles manejados con los otros tratamientos de fertilización y árboles no fertilizados (Tabla 3).

Las diferencias en la dimensión de los frutos se debe principalmente a las características genéticas de cada cultivar, ya que, existen reportes de que los frutos de ‘Tommy Atkins’ presentan dimensiones de 11.6 y 9.5 cm de diámetro polar y ecuatorial (Carrera *et al.*, 2007; Fallas *et al.*, 2010), en tanto que, los valores de diámetro polar y ecuatorial para ‘Manila’ son de 11.9 cm y 7.2 cm y de 9.9 cm y 5.5 cm para ‘Ataulfo’, respectivamente (Pérez-Barraza *et al.*, 2009; Pérez-Barraza *et al.*, 2011). Existen reportes de que los nutrientes aportados a través de la fertilización orgánica o mineral influyen positivamente en la dimensión del fruto, estimulando frutos de mayores en comparación con los no fertilizados (Corrales *et al.*, 2003). En el presente estudio esta situación no fue observada, ya que, todos los frutos presentaron diámetro polar similar, incluso, los frutos provenientes de árboles no fertilizados presentaron diámetro ecuatorial mayor al de árboles fertilizados con materia orgánica en la dosis de 5 t ha⁻¹ y la dosis mineral 150-0-0 kg ha⁻¹ de N-P-K. Esta situación podría atribuirse a la cantidad de frutos presentes en el árbol durante el ciclo de producción evaluado, los árboles no fertilizados produjeron menor número de frutos, por lo tanto, la competencia por nutrientes entre los frutos fue menor en comparación con los árboles fertilizados con fertilizantes orgánicos o mineral (Peralta-Antonio *et al.*, 2014). Por otra parte, la interacción entre tratamientos de fertilización y cultivares de mango, muestra que el diámetro polar de frutos fue más afectado en comparación con el diámetro ecuatorial, principalmente en los cultivares

‘Manila’ y ‘Tommy Atkins’, ya que, presentaron frutos con mayor diámetro polar cuando se utilizó lombricompost 10 t ha⁻¹ y bokashi 10 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 2A y 2B).

Tabla 3. Dimensiones, peso, firmeza y sólidos solubles totales en frutos de tres cultivares de mango, manejados con diferentes tratamientos de fertilización, en Veracruz, México, correspondiente al ciclo de producción 2011.

Cultivares	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Peso de fruto (g)		Firmeza (kg cm ⁻²)		Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)	
			MF	MC	MF	MC	MF	MC
Manila	10.7 a ^z	5.2 c	201.8 c	185.4 c	11.3 c	0.5 c	13.8 a	22.7 a
Tommy Atkins	10.6 a	8.6 a	534.3 a	511.5 a	18.4 b	1.7 a	12.8 ab	17.8 c
Ataulfo	10.1 b	6.6 b	268.6 b	237.7 b	21.1 a	1.0 b	11.9 b	19.6 b
DHMS	0.4	0.2	35.1	22.2	2.2	0.1	1.4	0.6
Tratamiento de fertilización								
Lombricompost 10 t ha ⁻¹	10.5 a ^z	6.7 b	355.4 ab	354.9 a	16.6 a	1.1 abc	14.0 a	17.9 c
Bokashi 10 t ha ⁻¹	10.9 a	6.8 ab	341.7 ab	330.7 ab	18.1 a	0.9 acb	12.6 a	20.3 ab
Gallinaza 10 t ha ⁻¹	10.8 a	6.9 ab	388.4 a	332.2 ab	15.2 a	0.9 abc	13.7 a	20.4 ab
150-0-200 kg ha ⁻¹	10.5 a	6.8 ab	325.2 ab	323.2 abc	16.6 a	1.1 abc	12.8 a	20.0 ab
150-0-0 kg ha ⁻¹	10.4 a	6.7 b	352.1 ab	321.4 abc	16.8 a	1.2 ab	12.5 a	20.2 ab
Gallinaza 5 t ha ⁻¹	10.4 a	6.6 b	341.0 ab	314.4 abc	15.7 a	0.8 c	13.1 a	20.8 ab
Bokashi 5 t ha ⁻¹	10.3 a	6.6 b	312.2 ab	277.7 cd	16.0 a	0.9 abc	13.5 a	21.0 a
Lombricompost 5 t ha ⁻¹	10.1 a	6.6 b	308.5 ab	287.5 abc	18.7 a	1.2 ab	11.1 a	19.3 bc
Testigo	10.4 a	7.3 a	289.6 b	261.7 d	18.7 a	1.3 a	12.4 a	20.5 ab
DHMS	0.9	0.6	81.4	51.4	5.1	0.2	3.4	1.5
Cultivar (C)	**	**	**	**	**	**	**	**
Tratamiento de fertilización (FT)	**	**	**	**	ns	**	ns	**
Interacción C x FT	**	**	**	**	ns	**	ns	**

DMSH = diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad. ZMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$). ns = no existe diferencia estadística significativa al 5 % de probabilidad. **

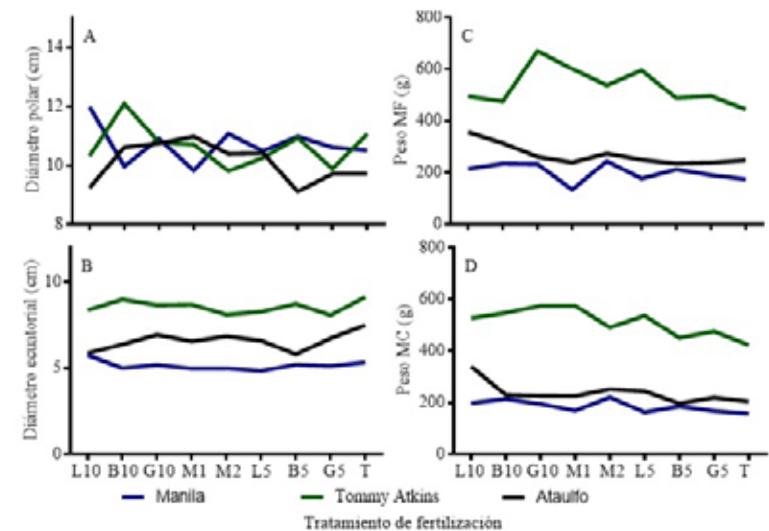
Existe diferencia estadística significativa al 5 % de probabilidad.

El peso de fruto presentó la misma tendencia en los dos estados de madurez, en ambos casos los frutos de ‘Tommy Atkins’ presentaron pesos mayores que los de ‘Ataulfo’, que a su vez, superó a ‘Manila’ (Tabla 3). Los tratamientos de fertilización indujeron diferencias en el peso de frutos, durante la madurez fisiológica, el peso de los frutos obtenidos de árboles fertilizados con gallinaza 10 t ha⁻¹ fue mayor al de árboles no fertilizados y semejante al de árboles donde se utilizaron los otros tratamientos de fertilización. En madurez de consumo, los frutos obtenidos en árboles fertilizados con lombricompost 10 t ha⁻¹ presentaron mayor peso que los fertilizados con bokashi 5 t ha⁻¹ y árboles no fertilizados (Tabla 3). Se observó interacción entre tratamientos de

fertilización y cultivares de mango en el peso de frutos, en los dos estados de madurez, los frutos de ‘Tommy Atkins’ proveniente de árboles fertilizados con materia orgánica en la forma de gallinaza 10 t ha⁻¹ presentaron los valores más altos (Figura 2C y 2D).

Diferencias en el peso de fruto se atribuye a diferencias genéticas entre cultivares, para ‘Tommy Atkins’ se reportan pesos que fluctúan entre 400 y 507 g (Carrera *et al.*, 2007; Rincón *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2010), en tanto que, para ‘Manila’ y ‘Ataulfo’ los pesos máximos reportados son de 276 g y 343 g, respectivamente (Pérez-Barraza *et al.*, 2011; Rebolledo-Martínez *et al.*, 2008; Vázquez-Valdivia *et al.*, 2009). Mayor peso de frutos de los árboles fertilizados con materia orgánica en forma de bokashi y lombricompost 10 t ha⁻¹ en comparación con los árboles no fertilizados, puede estar relacionado con la cantidad de nutrientes adicionados al suelo, la mayor disponibilidad de nutrientes y su liberación paulatina posiblemente favoreció el crecimiento y acumulo de materia seca de frutos. Mayor peso de frutos de ‘Tommy Atkins’ cuando se utilizó gallinaza 10 t ha⁻¹ indica que este fertilizante orgánico favoreció a este cultivar, posiblemente las mayores concentraciones de N, P e K en este abono elevó su calidad nutricional para los microorganismos edáficos, en consecuencia su velocidad de mineralización fue mayor en comparación con los otros abonos orgánicos.

Figura 2. Diámetro polar (A), diámetro ecuatorial (B) y peso de fruto en madurez fisiológica (MF) (C) y madurez de consumo (MC) (D) de tres cultivares de mango, manejados con diferentes tratamientos de fertilización, correspondiente al ciclo de producción 2011, en la región costera central de Veracruz, México.



L10 = Lombricompost 10 t ha⁻¹; B10 = bokashi 10 t ha⁻¹; G10 = gallinaza 10 t ha⁻¹; M1= 150-0-200 kg ha⁻¹ de N-P-K; M2 = 150-0-0 kg ha⁻¹ de N-P-K; G5 = gallinaza 5 t ha⁻¹; B5 = bokashi 5 t ha⁻¹; L5 = Lombricompost 5 t ha⁻¹.

En la firmeza de fruto, se observó diferencias entre cultivares. Durante la madurez fisiológica, la firmeza de frutos de 'Ataulfo' superó al de 'Tommy Atkins', quien a su vez, superó a 'Manila'. Cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo, fue 'Tommy Atkins' el que presentó la mayor firmeza y 'Manila' el que mostró la menor firmeza. En el caso de tratamientos de fertilización, solo se observó diferencias durante la madurez de consumo, en donde, el grado de firmeza de frutos de árboles no fertilizados fue mayor que el de frutos cosechados de árboles fertilizados con bokashi 5 t ha⁻¹ y similar al de frutos donde se utilizaron los otros tratamientos de fertilización (Tabla 3). Durante la madurez fisiológica, no se observó interacción fue entre cultivares y tratamientos de fertilización (Tabla 3). En madurez de consumo, los frutos de 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' mostraron mayor firmeza cuando los árboles se fertilizaron con la dosis mineral 150-0-200 kg ha⁻¹ de N-P-K (Figura 4B).

De los tres cultivares de mango, solo 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo' alcanzaron los grados mínimos de firmeza requerido para la comercialización de frutos, establecido por la norma mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006 (grado mínimo aceptable de 15.6. 12.2 y 15.6 kg cm⁻² para 'Manila', 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo', respectivamente). Menor grado de firmeza de 'Manila' posiblemente se debe a que los frutos se encontraban en un estado de madurez más avanzado que los otros dos cultivares. Por otra parte, a pesar de que los tratamientos de fertilización influyeron en el grado de firmeza del fruto en madurez de consumo, principalmente en 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo', no se puede atribuir este resultado únicamente al aspecto nutrimental, ya que la calidad postcosecha de frutos está relacionada con diversos factores como las características de suelo, factores climáticos, prácticas agronómicas, ataque de plagas y enfermedades y las respuestas de cada cultivar a las condiciones antes mencionadas (Senhor *et al.*, 2009).

Fue evidente la pérdida de firmeza cuando los frutos alcanzaron el estado de madurez de consumo, para 'Manila', 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo' se observó una reducción de firmeza del 95.6 %, 90.7 % y 95.3 %, respectivamente. Esta pérdida de firmeza, al igual que la pérdida de peso del fruto está asociada al proceso de maduración (Siller-Cepeda *et al.*, 2009). Durante este proceso natural, el fruto pierde líquidos debido a la transpiración, mediante los procesos bioquímicos ocurren cambios en la estructura celular del fruto y se degradan polímeros debido a la actividad de enzimas hidrolíticas (Wakabayashi, 2000).

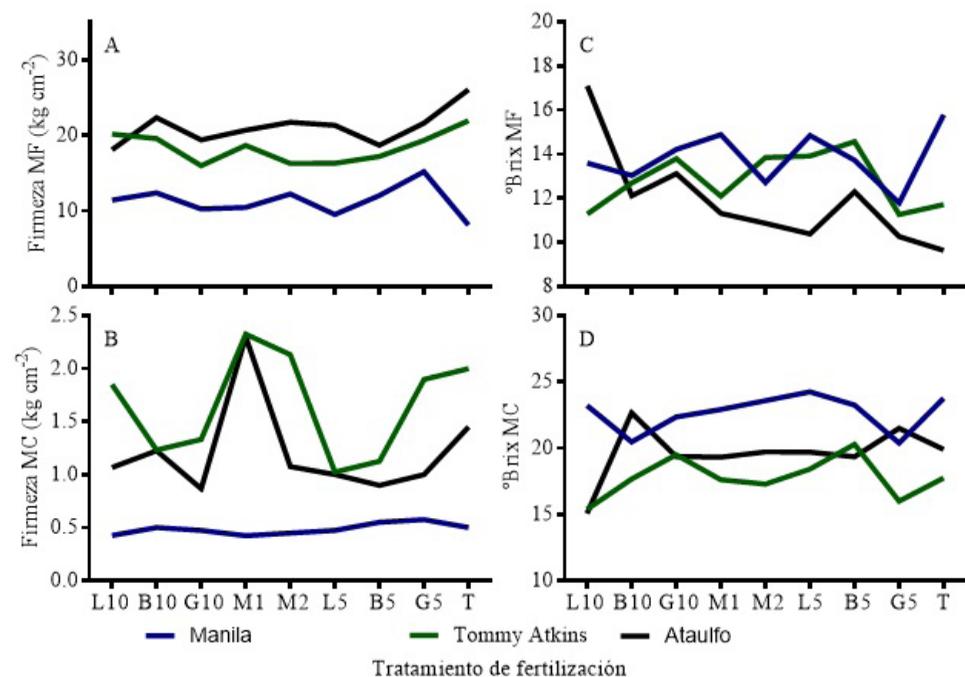
El contenido de sólidos solubles totales difirió entre cultivares. Durante la madurez fisiológica, los frutos de 'Manila' presentaron valores estadísticamente igual a los de 'Tommy Atkins' y superior a los de 'Ataulfo'. En madurez de consumo 'Manila' mostró el mayor contenido de sólidos solubles totales y 'Tommy Atkins' fue el que

presentó el menor valor. En cuanto a los tratamientos de fertilización, solo se observó diferencias estadísticas durante la madurez de consumo, donde, los frutos obtenidos de árboles fertilizados con bokashi 5 t ha⁻¹ presentaron contenido de sólidos solubles totales superior a los frutos provenientes de árboles fertilizados con lombricompost 10 y 5 t ha⁻¹ (Tabla 3). En madurez fisiológica, el cultivar Ataulfo fertilizado con lombricompost 10 t ha⁻¹ mostró el mayor valor de °Brix. Esta situación cambió en la madurez de consumo, donde, los árboles de 'Manila' fertilizados con lombricompost 5 t ha⁻¹ fueron los que alcanzaron los valores más altos de °Brix (Figura 4C y 4D).

Las diferencias en el contenidos de sólidos solubles totales entre cultivares se atribuyen a las características genéticas, ya que, otros estudios han revelado que el cultivar Manila presenta °Brix mayor que los de Ataulfo y Tommy Atkins (Siller-Cepeda *et al.*, 2009; López y Trejo, 2015). Al igual que en el caso de firmeza, se deduce que además de los tratamientos de fertilización, otros factores influyeron en el contenido de sólidos solubles totales en los frutos de mango, ya que el valor más alto de °Brix obtenido de árboles fertilizados con lombricompost 5 t ha⁻¹ fue similar al de los frutos cosechados de árboles no fertilizados. Estos resultados posiblemente también se relacionan con la cantidad de frutos por árbol, ya que, en el ciclo de producción 2011, todos los árboles que recibieron fertilización orgánica o mineral presentaron número y peso de frutos por árbol mayores a los cuantificados en árboles no fertilizados, lo que posiblemente incrementó la competencia por nutrientes que influyen en el contenido de sólidos solubles totales, como es el caso del K (Senhor *et al.*, 2009; Peralta-Antonio *et al.*, 2014).

Se observó un incremento general en la concentración de sólidos solubles cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo. 'Manila', 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo' presentaron incrementos de 65%, 39% y 65%, respectivamente. Este incremento de sólidos solubles totales se debe a los procesos metabólicos naturales durante la maduración de los frutos, donde, el contenido de almidón de los frutos es transformado a azúcares simples, provocado principalmente por la respiración (Carrera *et al.*, 2009; Siller-Cepeda *et al.*, 2009). Tanto en madurez fisiológica y madurez de consumo, los frutos de los tres cultivares de mango presentaron °Brix mínimos requeridos por la norma mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006 para la comercialización de frutos (mínimo 6.0. 7.3 y 2.9 °Brix para 'Manila', 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo').

Figura 4. Firmeza en madurez fisiológica (MF) (A) y madurez de consumo (MC) (B) y contenido soluble totales de frutos en madurez fisiológica (C) y madurez de consumo (D) de tres cultivares de mango, obtenidos de árboles manejados con diferentes tratamientos de fertilización, correspondiente al ciclo de producción 2011, en la región costera central de Veracruz, México.



Concentración de nutrimentos en frutos

Entre cultivares de mango, no se observó diferencias estadísticas en la concentración de N, K, Ca y Mg en las diferentes partes del fruto. Para el caso de los tratamientos de fertilización, únicamente se observó diferencias en la concentración de Mg en cáscara y K en la pulpa. El Mg en la cáscara de frutos provenientes de árboles fertilizados con gallinaza 5 t ha⁻¹ fue igual al de árboles fertilizados con lombricompost 10 t ha⁻¹, bokashi 5 t ha⁻¹ y árboles no fertilizados y mayor al de árboles donde se aplicaron los otros tratamientos de fertilización. Por otra parte, la concentración de K en la pulpa de frutos cosechados de árboles manejados con la dosis mineral 150-0-200 kg ha⁻¹ de N-P-K, fue similar al de árboles donde se utilizó lombricompost 10 t ha⁻¹, gallinaza 5 t ha⁻¹ y bokashi 5 y 10 t ha⁻¹ y superior al resto de los tratamientos de fertilización y árboles no fertilizados (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en las diferentes partes del fruto de tres cultivares de mango, obtenidos de frutos manejados con diferentes tratamientos de fertilización, correspondiente al ciclo de producción 2011, en la región costera central de Veracruz, México.

Cultivares	Cáscara				Semilla				Pulpa			
	N	K	Ca	Mg	N	K	Ca	Mg	N	K	Ca	Mg
Manila	0.49 a ^z	1.08 a	0.15 a	0.07 a	0.63 a	0.36 a	0.10 a	0.06 a	0.41 a	0.51 a	0.08 a	0.03 a
Tommy Atkins	0.46 a	1.10 a	0.14 a	0.08 a	0.64 a	0.39 a	0.11 a	0.05 a	0.43 a	0.48 a	0.07 a	0.03 a
Ataulfo	0.47 a	0.92 a	0.15 a	0.08 a	0.66 a	0.35 a	0.12 a	0.06 a	0.37 a	0.49 a	0.07 a	0.03 a
DHMS	0.09	0.25	0.01	0.01	0.12	0.09	0.02	0.01	0.10	0.12	0.01	0.005
Tratamiento de fertilización												
Lombricompost 10 t ha ⁻¹	0.50 a ^z	1.04 a	0.16 a	0.08 ab	0.52 a	0.39 a	0.12 a	0.05 a	0.40 a	0.54 ab	0.07 a	0.03 a
Bokashi 10 t ha ⁻¹	0.37 a	0.98 a	0.13 a	0.07 b	0.60 a	0.44 a	0.12 a	0.06 a	0.31 a	0.62 ab	0.08 a	0.03 a
Gallinaza 10 t ha ⁻¹	0.46 a	1.06 a	0.17 a	0.06 b	0.53 a	0.31 a	0.09 a	0.06 a	0.36 a	0.39 b	0.08 a	0.03 a
150-0-200 kg ha ⁻¹	0.38 a	0.94 a	0.15 a	0.06 b	0.67 a	0.32 a	0.11 a	0.05 a	0.36 a	0.71 a	0.08 a	0.03 a
150-0-0 kg ha ⁻¹	0.57 a	1.02 a	0.16 a	0.07 b	0.73 a	0.36 a	0.12 a	0.05 a	0.53 a	0.41 b	0.07 a	0.03 a
Gallinaza 5 t ha ⁻¹	0.58 a	1.11 a	0.14 a	0.10 a	0.69 a	0.35 a	0.10 a	0.07 a	0.49 a	0.49 ab	0.08 a	0.03 a
Bokashi 5 t ha ⁻¹	0.50 a	1.25 a	0.14 a	0.09 ab	0.68 a	0.35 a	0.10 a	0.07 a	0.46 a	0.50 ab	0.08 a	0.02 a
Lombricompost 5 t ha ⁻¹	0.50 a	1.02 a	0.13 a	0.07 b	0.71 a	0.39 a	0.11 a	0.06 a	0.36 a	0.40 b	0.07 a	0.03 a
Testigo	0.40 a	0.87 a	0.13 a	0.08 ab	0.67 a	0.38 a	0.11 a	0.05 a	0.40 a	0.38 b	0.07 a	0.03 a
DHMS	0.22	0.59	0.04	0.02	0.28	0.21	0.05	0.03	0.24	0.29	0.04	0.01
Cultivar (C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamiento de fertilización (TF)	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
Interacción C x TF	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DMSH = diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad. ZMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$). ns = no existe diferencia estadística significativa al 5 % de probabilidad. **

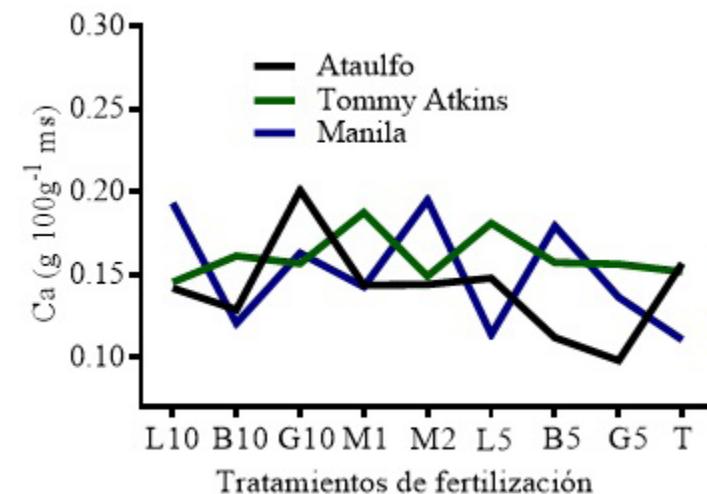
Existe diferencia estadística significativa al 5 % de probabilidad.

En el presente estudio se observó que la concentración de N, K, Ca y Mg es diferente en cada parte del fruto. Las concentraciones de nutrientes de cáscara y pulpa fueron en el siguiente orden: K>N>Ca>Mg, diferente de la semilla, donde, el orden fue N>K>Ca>Mg. Otros estudios también reportan diferencias en la concentración de nutrientes entre los componentes del fruto, sin embargo, también reportan que esas concentraciones son diferentes entre cultivares (Mellado-Vazquez *et al.*, 2012), contrario a lo encontrado en esta investigación, ya que, no se detectó diferencias entre los cultivares de mango. A pesar de lo anterior, se espera que la cantidad de N, K, Ca y Mg removido por los frutos si sea diferente, principalmente en los de ‘Tommy Atkins’, ya que, este cultivar se caracteriza por presentar frutos más grandes comparado con los de ‘Manila’ y ‘Ataulfo’ y porque en el ciclo de producción 2011 el cultivar Tommy Atkins alcanzó el mayor rendimiento de frutos (Peralta-Antonio *et al.*, 2014).

A pesar de que en otros estudios se tenga evidencia del efecto positivo de los fertilizantes orgánicos y minerales en la concentración de N, P y K en los frutos de mango (Corrales *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2011), en la presente investigación esto no ocurrió, con excepción de Mg en cáscara y K en pulpa. Mayor concentración de K en pulpa en frutos provenientes de árboles fertilizados con la dosis mineral 150-0-200 kg ha⁻¹ de N-P-K, posiblemente está relacionado con diferentes factores. Primeramente, comparando la mayor dosis de gallinaza, donde se aplicaron cantidades de K similar al de la fertilización mineral, la diferencia en sus efectos podría estar relacionado con la velocidad en que los nutrientes quedaron disponibles para los árboles, los nutrientes aportados con fuentes minerales, al ser solubles en agua quedan disponibles para las plantas inmediatamente después de su aplicación, mientras que nutrientes adicionados con residuos orgánicos necesitan pasar por el proceso de mineralización para que los nutrientes estén disponibles para los árboles (Pereira *et al.*, 2016), para las dosis de 5 t ha⁻¹ y para los otros abonos orgánicos la diferencia con la fertilización mineral se atribuye a la menor cantidad de K aplicado al suelo. La igualdad en las concentraciones de N, K, Ca y Mg en las otras partes del fruto indican que estos nutrientes estuvieron disponibles en el suelo en cantidad suficiente y en la época requerida por los árboles.

Por otra parte, la interacción entre cultivares de mango y tratamientos de fertilización, solo fue observado en la concentración de Ca en la cáscara del fruto, en donde, los valores más altos fueron encontrados en frutos de ‘Ataulfo’ provenientes de árboles fertilizados con gallinaza 10 t ha⁻¹ y en frutos de ‘Manila’ fertilizados con lombricompost 10 t ha⁻¹ y con la dosis mineral 150-0-0 kg ha⁻¹ de N-P-K (Figura 5), lo cual indica que estos tratamientos favorecieron más la concentración de Ca en la cáscara del fruto.

Figura 5. Concentración de calcio (Ca) en la cáscara de frutos de tres cultivares de mango, manejados con diferentes tratamientos de fertilización, correspondiente al ciclo de producción 2011, en la región costera central de Veracruz, México.



L10 = Lombricompost 10 t ha⁻¹; B10 = bokashi 10 t ha⁻¹; G10 = gallinaza 10 t ha⁻¹; M1= 150-0-200 kg ha⁻¹ de N-P-K; M2 = 150-0-0 kg ha⁻¹ de N-P-K; G5 = gallinaza 5 t ha⁻¹; B5 = bokashi 5 t ha⁻¹; L5 = Lombricompost 5 t ha⁻¹.

CONCLUSIONES

Los abonos orgánicos gallinaza y bokashi presentaron efectos más consistentes, estimularon frutos con dimensión, peso, firmeza, sólidos solubles totales y concentración de K y Mg, similar a los conseguidos con la dosis mineral tradicional, más, solo superaron a los árboles no fertilizados en peso de fruto, por lo tanto, se acepta parcialmente la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

LITERATURA CITADA

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). *Official methods of analysis*. 15° ed. Washington. DC.

Carrera, A., Gil, R., & Mark, D. (2009). Comportamiento poscosecha de cinco cultivares de mango tratados con CO₂ y almacenados bajo condiciones naturales, en la Estación Experimental de INIA Caripe, estado Monagas. *Revista UDO Agrícola*, 9, 51-59.

Carrera, A., Mark, D., & Gil, R. (2007). Algunas características físicas y químicas de frutos de cinco variedades de mango en condiciones de sabana del estado de Monagas. *Agronomía Tropical*, 58, 27-30.

Corrales, G. I., González, M., & Labarta, P. L. (2003). Respuesta del mango (*Mangifera indica* L.) a las aplicaciones de humus de lombriz con fertilizante mineral. *Centro Agrícola*, 3, 45-50.

Costa, M. E., Caldas, A. V. C., Souza, W. C. M., Gurguel, M. T., & Silva, R. M. (2011). Caracterização nutricional da mangueira “Tommy Atkins” sob adubação potássica. *Revista Verde*, 6, 125-130.

El-Motty, A., Elham, Z., Shahin, M. F., El-Shiekh, M. H., & Abd-El-Migeed, M. M. (2010). Effect of algae extract and yeast application on growth, nutritional status, yield and fruit quality of keitte mango trees. *Agriculture & Biology Journal of North America*, 1(3), 421-429.

Fallas, R., Berstch, F., Miranda, E., & Enríquez, C. (2010). Análisis de crecimiento y absorción de frutos de mango, cultivares Tommy Atkins y Keith. *Agronomía Costarricense*, 34, 1-15.

Kumar, M., & Kumar, R. (2013). Response of organic manures on growth and yield of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dashehari. *Hortflora Research Spectrum*, 2(1), 64-67.

López, G. S. D., & Trejo, D. M. (2015). Análisis del estado de madurez de mango (*Mangifera indica*) mediante espectroscopía UV-VIS-NIR. *Jóvenes en la Ciencia*, 1(2), 1206-1210.

Mellado-Vázquez, A., Salazar-García, S., Treviño-de la Fuente, C. A., González-Durán, I. J. L., & López-Jiménez, A. (2012). Composición y remoción nutrimental de frutos de mango ‘Haden’ y ‘Tommy Atkins’ bajo producción forzada. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 3, 925-941.

Moyin-Jesu, E. I., & Adeofun, C. O. (2008). Comparative evaluation of different organic fertilizer on the soil fertility, leaf mineral composition, and growth performance of mango seedlings (*Mangifera indica* L.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 20(1), 18-30.

Peralta-Antonio, N., Becerril-Román, A. E., Rebolledo-Martínez, A., & Jaén-Contreras, D. (2015). Estado nutricional foliar de tres cultivares de mango fertilizados con abonos orgánicos. *Idesia (Arica)*, 33(3), 65-72.

Peralta-Antonio, N., Rebolledo-Martínez, A., Becerril-Román, A. E., Jaén-Contreras, D., & del Angel-Pérez, A. L. (2014). Response to organic fertilization in mango cultivars: Manila, Tommy Atkins and Ataulfo. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(3), 688-700.

Pereira, N. S., Soares, I., & Miranda, F. R. d. (2016). Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. *Ciência Rural*, 46(6), 970-975.

Pérez-Barraza, M. H., Osuna-García, J., Sánchez-Lucio, R., & Vázquez-Valdivia, V. (2011). El paclobutrazol como promotor de la floración en mango ‘Manila’, aun sin condiciones ambientales inductivas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15, 47-52.

Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., Osuna-García, J., & Urías-López, M. A. (2009). Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocarpicos en mango ‘Ataulfo’ con reguladores de crecimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15, 183-188.

Ramírez, M. R., Quijada, O., Castellano, G., Burgos, M. E., Camacho, R., & Marin, R. C. (2010). Características físicas y químicas de frutos de trece cultivares de mango (*Mangifera indica* L) en el municipio mara en la planicie de maracaibo. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 10(2), 65-72.

Rebolledo-Martínez, A., del Angel-Pérez, A. L., & Rey, J. M. (2008). Effects of paclobutrazol and KNO₃ over flowering and fruit quality in two cultivars of mango Manila. *Interciencia*, 33, 518-522.

Rincón, A., Montilla, E., & Valverde, L. (2008). Evaluación de dieciséis (16) cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en los llanos venezolanos. *Agricultura Andina*, 15, 3-14.

Santos, B. M. (2007). Effects of adding compost to fertilization programs on Keitt mango. *Journal of Agronomy*, 6(2), 382-384.

Saran, P. L., & Kumar, R. (2011). Boron deficiency disorders in mango (*Mangifera indica*): field screening, nutrient composition and amelioration by boron application. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(6), 506-510.

Senhor, R. F., Souza, P. A. d., Carvalho, J. N. d., Silva, F. L. d., & Silva, M. (2009). Factores de pré e pós-colheita que afetam os frutos e hortaliças em pós-colheita. *Revista Verde*, 4(3), 13-21.

Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E., & Ireta-Ojeda, A. (2009). Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32, 45-52.

Silva, D. J., Mouco, M. A. D. C., Gava, C. A. T., Giongo, V., & Pinto, J. M. (2013). Composto orgânico em mangueiras (*Mangifera indica* L.) cultivadas no semiárido do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35, 875-882.

Vázquez-Valdivia, V., Pérez-Barraza, M. H., Osuna-García, J. A., & Urías-López, M. A. (2009). Manejo integral de huertos de mango 'Ataulfo' con altas densidades de plantación. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 155-160.

Wakabayashi, K. (2000). Changes in cell wall polysaccharides during fruit ripening. *Journal of Plant Research*, 113, 231-237.

Ma. del Carmen Rocha Granados^{1*}, José López Medina¹

ENRAIZAMIENTO *IN VITRO* DE ARÁNDANO (*Vaccinium SP.*) VAR. BILOX)

ABSTRACT

The rooting potential of blueberry shoots var. Biloxi cultured *in vitro*, was evaluated using the auxin Indole-butyric acid at concentrations of 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mg L⁻¹, alone or in combination with sodium silicate and/or thiosulfate (0, 100, 200 and 300 µM), and activated charcoal (0.5 and 1 mg L⁻¹). The application of AIB was better at dose of 1.5 mg L⁻¹ with 2.08 roots per explant, and an average plant length of 4.88 cm and roots of 1.56 cm. Explants placed in 2 mg L⁻¹ of IBA plus 300 µM of silicon had a higher number of roots (2.0 per explant), as well as those that were placed in 1mg L⁻¹ of IBA and 0.5 or 1 mg L⁻¹ of activated charcoal presented an average of 1.80 roots per explant, without callus formation. Explants grown in AIB (1 and 2 mg L⁻¹) plus 1 mg L⁻¹ activated charcoal showed the best formation of adventitious roots (5.6 roots per explant).

Key words: Blueberry, Rooting, IBA, Silice, Activate charcoal, Thiosulfate.

INTRODUCCIÓN

El arándano es un arbusto que pertenece a la Familia Ericaceae y al género *Vaccinium*, originario de Norteamérica, correspondiendo a Estados Unidos el primer lugar en producción, importación y consumo a nivel mundial (Toro, 2009). En los últimos años

¹Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas S/N Esq. Berlín, Col. Viveros. C. P. 60170. Uruapan, Michoacán, México. *e-mail: crochagra@hotmail.com, joselopezmedina@gmail.com
^{*}autor para correspondencia: crochagra@hotmail.com

ha adquirido gran importancia por su alta demanda a nivel mundial, lo que ha generado el establecimiento de grandes plantaciones en México (SIAP, 2014), y una fuerte demanda de planta. La principal restricción para disponer de plantas de arándano en México es la escasa disponibilidad de variedades libres como Biloxi, Misty y Sharblue, las cuales se han adaptado excelentemente en Michoacán (Rodríguez-Pavez, 2005; Quezada, 2013). Los arándanos se pueden multiplicar por estacas leñosas o por estacas herbáceas, por injertos, mediante micropropagación y por semillas; aunque el método más utilizado es por estacas en cualquiera de sus formas (Navarro *et al.*, 2001). En los últimos años la propagación *in vitro* o por cultivo de tejidos vegetales (CTV), ha sido una técnica que se ha empleado para la propagación de berries, utilizando la embriogénesis somática u organogénesis (directa e indirecta) (Victoriano, 2010).

En cuanto a la iniciación del enraizamiento de arándano *in vitro*, en la micropropagación de “bilberry” y “lingonberry” se ha visto una fuerte influencia de las citocininas y la estación de crecimiento para la fase de iniciación de raíces en brotes micropropagados, así tratamientos con 2.07 μM de una solución de ácido indo-butírico (IBA) en brotes micropropagados permitió una eficiente emisión de raíces adventicias (Jaakola *et al.*, 2002).

Zhidong *et al.* (2006), estudiaron la micropropagación de muchos genotipos de *Vaccinium* como el arándano “lowbush”, “half-high”, “Highbush”, “Rabbiteye”, “Cranberry” y “Lingonberry”. El sistema de micropropagación consistió en medio WPM con 0.1 a 2.0 mg de zeatina, azúcar y agua corriente en vez de agua destilada y sacarosa para reducir costos. La transferencia de los brotes generados *in vitro* a un medio fresco se efectuó cada 40 días. Se alcanzaron buenos porcentajes de raíces con inmersión en 1000 – 2000 mg L⁻¹ de ácido indol-butírico (AIB) o en 2, 5 y 10 mg L⁻¹ de ácido naftalenacético (ANA).

El tiosulfato es un compuesto que se ha reportado actuar sobre algunos fenómeno morfogénicos *in vitro* de las plantas. Uno de los primeros experimentos realizados con este compuesto es el reportado por Faría y Segura (1997), quienes lograron la regeneración de *Passiflora edulis* F. *flavicarpa* y su subsecuente formación de raíces en un medio MS conteniendo tiosulfato de plata. Atkins *et al.* (2005), para demostrar el efecto dañino del etileno sobre la embriogénesis somática en callos cultivados de coco (*Cocos nucifera* L.) y papaya (*Carica papaya* L.), utilizaron aditivos, como las poliaminas y el tiosulfato (ST), en el medio de cultivo para reducir la producción de etileno, proteger contra su acción o ayudar a combatir el estrés producido por el etileno. El ST (1 μM) ayudó a la proliferación, maduración y germinación de los embriones somáticos de papaya.

Por otra parte, algunas investigaciones en aguacate han demostrado que el silicio influye de manera directa en el combate de infecciones fúngicas, contra *Phytophthora cinnamomi* Rans, en donde la adición de silicato de potasio redujo la pudrición de raíces y aumentó la masa radical de las plantas infectadas de aguacate Duke 7 (Bekker *et al.*, 2006). En el cultivo *in vitro* pocos han sido los trabajos realizados en enraizamiento de plantas con la utilización de la combinación de hormonas vegetales y elementos minerales, como el silicio, de ahí la importancia de esta investigación, donde se plantea como objetivo determinar el efecto de la combinación de ácido indol-butirico (AIB), silicio, tiosulfato y carbón activado en la formación del sistema radical en brotes adventicios de *Vaccinium* sp. *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue dividido en dos fases experimentales, en la primera se evaluaron diferentes concentración de ácido indol-butirico (AIB) sobre el porcentaje de explantes enraizados *in vitro*, para posteriormente evaluar la mejor concentración AIB y su combinación con silicio, tiosulfato de sodio y carbón activado a diferentes concentración.

Material biológico. Plántulas de arándano de la variedad Biloxi cultivadas *in vitro*, las cuales ya se encontraban creciendo en el medio de cultivo básico Woody Plant Medium (Lloyd y McCown, 1980).

Preparación de los medios de cultivo con AIB en la formación de raíces. El medio básico fue adicionado con el AIB en dosis de 0, 0.5, 1, 1.5 y 2 mg L⁻¹, correspondiente a cada tratamiento. En cada uno de los tratamientos se colocaron brotes de arándano provenientes de un cultivo *in vitro*, a los cuales se les realizó un corte de tal manera que todos los explantes utilizados presentaran características homogéneas con una longitud de 1.5 cm. Se colocaron cinco explantes por tratamiento obteniéndose un total de cuatro tratamientos más un testigo, con cinco repeticiones los cuales fueron establecidos en el cuarto de crecimiento a una temperatura de 25 °C y una luminosidad de 2200 lux, con un fotoperiodo de 16 h luz/ 8 h oscuridad

Combinación de AIB, silicio, tiosulfato de sodio y/o carbón activado. Para el segundo experimento se preparó el medio básico y se le adición el AIB en dosis de 1 o 2 mg L⁻¹, silicato o tiosulfato de sodio a concentraciones de 0, 100, 200 y 300 μM y carbón activado (0.5 y 1 g L⁻¹), cada uno por separado. Para establecer los experimentos se utilizaron explantes de 1.5 cm de longitud, tomando como punto de referencia el ápice y de ahí a la base, colocando diez explantes por frasco y cinco repeticiones de cada tratamiento, más un testigo. Todos los explantes fueron colocados en un cuarto de crecimiento a una temperatura de 25 °C y una luminosidad de 2200 lux, con un fotoperiodo de 16 h luz/ 8 h oscuridad.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, para el primer experimento se utilizaron cinco tratamientos, incluyendo el testigo, cada tratamiento constó de cinco (prueba e AIB) o diez (combinaciones) unidades experimentales donde cada unidad experimental correspondió a un frasco de cultivo conteniendo cinco explantes por repetición. Para el segundo experimento se emplearon diecisiete tratamientos con cinco repeticiones cada uno, y para el tercer experimento trece tratamientos con cinco repeticiones. Para analizar los resultados obtenidos de cada uno de los experimentos se utilizó el paquete estadístico SAS (System Analysis Statistic) versión 2008. Los resultados que mostraron diferencias significativas se les realizó la prueba de Tukey ($P=0.05\%$) o bien la prueba de Método de la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher.

Variables a evaluar

Las variables a evaluar, para el primer experimento, fueron (a) longitud de raíz, (b) número de raíz y (c) longitud de planta, para el experimento de combinación del regulador de crecimiento y los diferentes elementos las variables que se midieron fueron: sobrevivencia de la planta, longitud de planta y número de raíces. Todos los tratamientos fueron analizados 45 días después de su establecimiento en el laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de ácido indol-butírico (AIB) en la formación de raíces adventicias de arándano *in vitro*

Los resultados obtenidos de los análisis de varianza en relación a la longitud de planta y la raíz, así como para el número de raíces por explante de arándano variedad Biloxi con la adición de AIB, mostraron diferencias significativas. Al realizar el análisis de separación de medias se observa que el mejor tratamiento fue el de AIB a 1.5 mg L^{-1} , en el que se observó mayor longitud de explante, longitud de la raíz y números de raíces por explantes, seguido de los tratamientos con 1 y 2 mg L^{-1} , para el desarrollo del explante en comparación con el testigo (0 mg L^{-1}) (Figuras 1 y 2).

Figura 1 Longitud de explantes de arándano cultivados *in vitro* en medio WPM suplementado con AIB a $0, 0.5, 1.0, 1.5$ y 2.0 mg L^{-1}

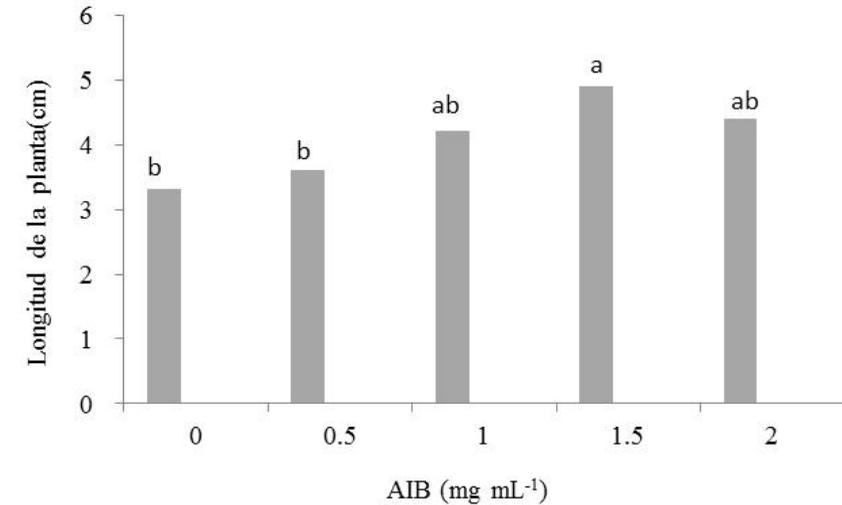
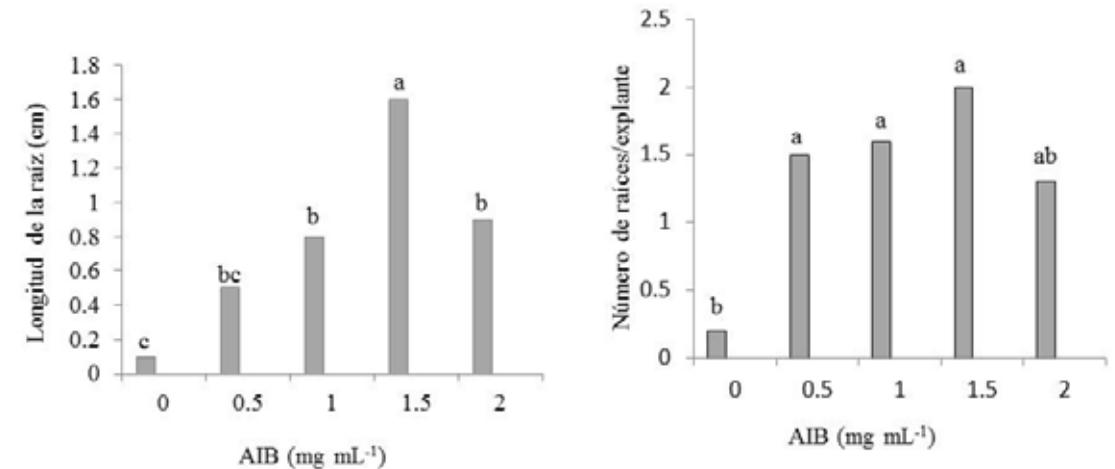


Figura 2 Efecto del AIB ($0, 0.5, 1, 1.5$ y 2 mg L^{-1}) sobre la longitud y número de raíces en explantes de arándano var. Biloxi



En cuanto al número de raíces generadas por explante, la prueba de medias indicó que todos explantes tratados con $0.5, 1$, y 1.5 mg L^{-1} de AIB formaron número semejantes

de raíces con 1.6, 1.7 y 2.1 raíces por explante respectivamente, en comparación con el testigo (0) que no formó raíces, mientras que el tratamiento con 2 mg L⁻¹ de AIB fue igual al testigo pero no diferente al resto de los tratamientos (Figura 2). También se pudo observar que conforme aumentó la concentración de AIB los explantes formaron callo, tejido donde se originaron las raíces lo que ocasionó que éstas se desprendieran fácilmente del explante (Figura 3).

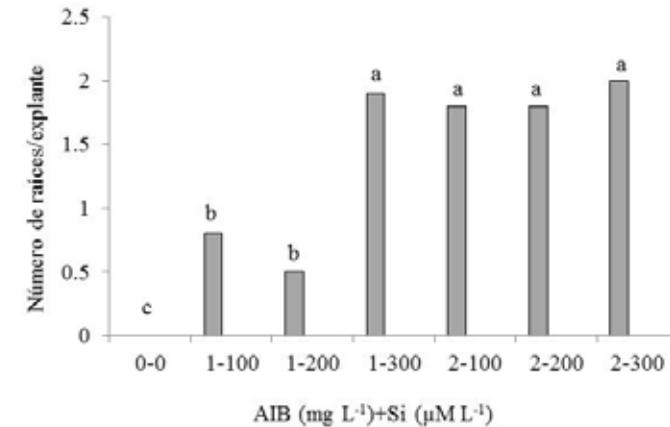
Figura 3 Efecto del AIB a concentraciones de 0, 0.5, 1, 1.5 y 2 mg L⁻¹ sobre la formación y elongación de raíces adventicias de arándano var. biloxi crecidas *in vitro*



Efecto de la combinación de AIB con tiosulfato de sodio, silicio y/o carbón activado sobre la formación de raíces adventicias de arándano *in vitro*

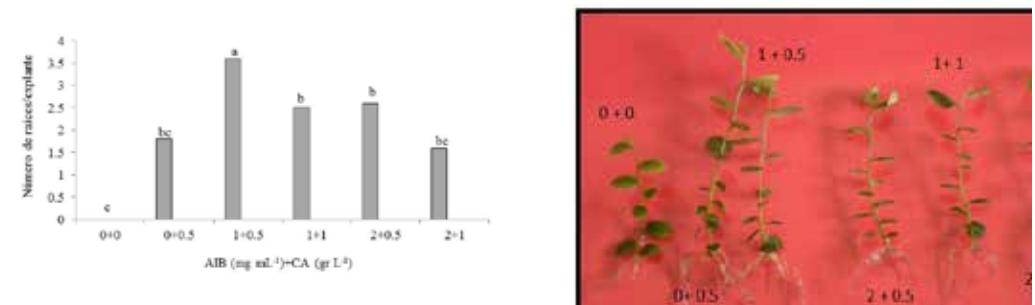
Para este experimento se utilizaron las dosis de 1 y 2 mg L⁻¹ de AIB, las cuales se eligieron del primer experimento, en combinación con sulfato de sodio, silicio y carbón activado a diferentes concentraciones. Los resultados obtenidos mostraron que la combinación de AIB con tiosulfato de sodio provocó efectos adversos en los explantes con bajo porcentaje de sobrevivencia, los cuales después de un tiempo presentaron oxidación y muerte progresiva. Combinaciones altas de AIB (2 mg L⁻¹) con silicio, en todas sus concentraciones (100, 200 y 300 μM), permitió una mayor producción de raíces en los explantes, mismas que disminuyen cuando se utilizan concentraciones más bajas (Figura4).

Figura 4 Número de raíces que formaron los explantes de arándano con 1 y 2 mg L⁻¹ de AIB en combinación con 100, 200 y 300 μM de silicio



La combinación del AIB con el carbón activado en el medio de cultivo favoreció la formación de raíces en todas sus concentraciones, siendo más efectivas las combinaciones de 1 mg L⁻¹ de AIB más 0.5 gr L⁻¹ de carbón activado pues los explantes formaron hasta 3.8 raíces por explante (Figura5). La sobrevivencia de los explantes de arándano puestos a enraizar *in vitro* no fue afectada por el uso de silicio, AIB y carbón activado solos o combinados ya que no presentaron diferencia significativa al realizar el análisis estadístico, teniendo así un 100% de sobrevivencia en todas las combinaciones al igual que el testigo.

Figura 5 Efecto de la combinación de AIB (1 y 2 mg L⁻¹) más carbón activado (0.5 y 1 mg L⁻¹) sobre la formación de raíces en explantes de arándano var. Biloxi



Entre las auxinas el AIB es el más utilizado ya que no es tóxico en un amplio rango de concentraciones para un gran número de especies, y químicamente más estable que el AIA, al contacto con el sustrato de propagación (Couvillon, 1998; Hartmann *et al.*, 2002). En la presente investigación, se encontró que la aplicación de AIB (1.5 mg L⁻¹), presentó un efecto positivo sobre longitud de planta, longitud de raíces y número de raíces en explantes de arándano. Estos resultados son semejantes a los descritos por Pierick, (1990), Rodríguez, (2011) y Quezada (2013) quienes señalan que en condiciones de cultivo *in vitro* una baja concentración de auxinas dan como resultado predominante la formación de raíces adventicias, mientras que en altas concentración se favorece la formación de callo. El uso de reguladores de crecimiento es una de las practicas más comunes para inducir la formación de raíces adventicias (Couvillon, 1998), y los más empleados son las auxinas tales como el ácido indol-3-acético (AIA), naftalacético (ANA) e indol-butírico(AIB).

La aplicación de auxinas en especies de fácil enraizamiento, es una práctica útil para formación de raíces, debido a que acelera la iniciación radical, aumentando el número de estacas enraizadas, incrementando el número y calidad de las raíces, además de proporcionar mayor uniformidad en el crecimiento y desarrollo de las raíces (Bacarán *et al.*, 1994). Algunos autores coinciden en que el AIB promueven el crecimiento de raíces laterales y adventicias, actúan como promotoras de raíz teniendo excelentes resultados en su utilización para enraizar estacas. Estudios realizados en cultivo *in vitro* han demostrado que la combinación de AIB y fenilalanina tienen buenos resultados en enraizamiento de estacas de especies leñosas o semileñosas (Rodríguez, 2011). Este trabajo mostró que la combinación de AIB con elementos como el silicio favorecen la formación *in vitro* de raíces laterales en explantes de arándano. El silicio juega un papel importante en la planta, controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico y biótico (Quero 2008, 2008; Viana 2008b; Chaudhary *et al.*, 2003; Hernández 2002). Jiménez-González (1998), estableció que cuando se cultiva *in vitro*, la oxidación fenólica ocasiona serios problemas en el establecimiento y supervivencia de los explantes de la mayoría de las especies. Una de las practicas más comunes para contrarrestar el efecto de esta es la adición de antioxidantes al medio de cultivo, entre los más empleados se encuentran los ácidos ascórbico, cítrico, málico y carbón activado. Thorpe *et al.* (1991) recomiendan la adición de carbón activado, de 0.1- 5 %, en el medio de cultivo para evitar los efectos de la oxidación de los explantes. Existen pocas investigaciones respecto al efecto del silicio en plantas cultivadas *in vitro*, una de ellas es el estudio realizado por Rodríguez-Hernández (2011) quien encontró que la adición de 100 µM

de silicio aun medio de cultivo provoca la formación de raíces adventicias en brotes de aguacate criollo cultivados *in vitro*, resultado que coincide con lo encontrado en esta investigación. (Primavesi (1984), ha reportado que este elemento es tomado en grandes cantidades por la planta de arroz, presentando efectos como resistencia a enfermedades fungosas, ataque de insectos, mantenimiento de hojas y tallos erectos, eficiencia en el uso de agua, incrementa el rendimiento del cultivo y en la translocación del fósforo. Steinitz *et al.* (2010), encontraron que el tiosulfato de sodio, solo o combinación con nitrato de plata promovieron la formación de raíces en plantas herbáceas, encontrando que a concentraciones de 100 µM platas como la begonia producía mayor cantidad de raíces adventicias, resultado que difiere de lo encontrado en esta investigación en donde se encontró que para el caso específico de arándano, los explantes expuestos a este elemento presentaron toxicidad y, en consecuencia, muerte progresiva.

La combinación de AIB y carbón activado permitió que los explantes formarán una mayor cantidad de raíces. Lo anterior debido a que se ha observado que el carbón activado es un compuesto que permite una mayor eficiencia morfogénica de los tejidos, de una gran cantidad de plantas cultivadas *in vitro*, en el medio de cultivo pues absorbe una gran cantidad de compuestos fenólicos, los cuales son tóxico para los tejidos, así como la absorción de algunos reguladores como el ácido abscísico y el etileno, reguladores que inhiben el crecimiento y desarrollo de raíces laterales de los explantes (Thomas, 2008).

CONCLUSIONES

La formación de raíces adventicias, así como la longitud de la raíz y la longitud de los explantes de arándano cultivados *in vitro*, se vieron favorecida por la adición de AIB, siendo la concentración de 1.5 mg L⁻¹ la que mejor resultado presentó, mientras que la adición de tiosulfato de sodio, solo o en combinación con AIB o silicio, al medio de cultivo provocó la oxidación y muerte progresiva de los explantes de arándano. Por el contrario, la adición de silicato de sodio al medio de cultivo favoreció la formación de masa radical en los explantes. Sin embargo, la combinación de AIB y carbón activado favorecieron la formación de raíces adventicias y suprimieron la formación de callo en los explantes de arándano en cultivo *in vitro*, siendo ésta la mejor combinación.

LITERATURA CITADA

Atkins, S.W., Samosir, Y.M.S., Nikmatullah, A., Ogle, H. (2005). Coconut (*Cocos nucifera*) *in vitro* ecology: modifications of headspace and medium additives can optimize somatic embryogenesis. *Scientia Horticultural*, 54:303-315.

Bekker, T., Labuschagne, N., Aveling, T., y Kaiserli, C. (2006). Department of plant production and soil Science, Department of microbiology and plant pathology, University of Pretoria, South Africa.

Chaudhary, R.C., Nanda, J. S., Tran, D.V. (2003). Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Problemas y limitaciones de la producción de arroz. Depósito de documentos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Departamento de Agricultura. Roma 2003 (en línea). Consulta junio 2014.

Couvillon, G. A. (1998). Rooting response to different treatments. *Acta Horticulturae*, 227, 187-196.

Farias, J.L.C and Segura, L. (1997). *In vitro* control of adventitious buds differentiation by inorganic medium components and silver thiosulfate in explants of *Passiflora edulis* F. *flavicarpa*. *In vitro Cellular & Developmental Biology*, 33 (3):209-212.

Hartmann, H.T., Kester, D. E., Davies, F.T., Géneve, R. L. (2002). *Plant Propagation: Principles and Practices*. Prentice Hall. 7th Ed.

Hernández, G. R. (2002). Nutrición mineral de las plantas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes-Mérida, Venezuela. Disponible en www.forest.ula.ve/-rubenhg. Consultado el 13 de septiembre de 2014.

Jaakola, L. A., Tolvanen, K. L., Hohtola, A. (2002). Micropropagation of bilberry and lingonberry. *Acta Horticulturae* 574:401-403.

Jiménez González, E. A. (1998). Cultivo de apices y meristemas. En: J. N. Pérez Ponce(ed.) *Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología de las plantas*. Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba, 45-56.

Navarro-Fortuño, J. S., García, C.V., Galán, S., Salero, C. (2001). Guía de las frutas cultivadas. Identificación y cultivo. Edición Mundi-Prensa. Madrid, España, 30-31.

Pierik, R. L. M. (1990). Cultivo *in vitro* de las plantas superiores. Ed. Mundi-Prensa. España.

Quero, E. (2008). Silicio en la producción de chile. La biosilificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal (en línea). Consultado mayo de 2016. Disponible en http://loquequero.com/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=1

Quezada, G. A. (2013). Inducción de callo *in vitro* y regeneración de plantas de arándano (*Vaccinium* sp.) var. Biloxi. Tesis de Ingeniero agrónomo, esp. Parasitología. Facultad de Agrobiología Presidente Juárez. U.M.S.N.H. Uruapan Michoacán, México.

Rodríguez, B. M. (2011). Propagación de arándanos. Ing. Agrónomo. M. Sc., Escuela de Agronomía, Facultad de Recursos Naturales. Universidad Católica de Temuco. Rudecindo Ortega 02950. Temuco, Chile.

Rodríguez-Pavez, E. (2005). Efecto de la micorrización en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) variedad O'Neal a nivel vivero. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 53.

SIAP. (2014). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Disponible en: www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado. (Acceso noviembre del 2014).

Steinitz, B. Y. Tabilo, N. Barr, N. Bernstein. (2010). IHC Lisboa Science and Horticulture for people. Abstracts, volumen 28th international Congress Horticultural, Lisboa Portugal, august 22-27.

Thomas, T. D. (2008). The role of activated charcoal in plant tissue culture. *Biotechnology Advances*, 26(6), 618-631.

Thorpe, T. A., Harry, I.S., Kumar, P. P. (1991). Application of micropropagation to forestry. En *Micropropagation*. Debergh PC y Zimmerman RH eds, Kluwer Academic Publishers.

Toro, C. M. A. (2009). Mejoramiento del proceso de propagación *in vitro* de plantas de arándano para las variedades Bluecrop, Duke y Misty. Memoria de título. Facultad de ciencias Agronomicas Escuela de Agronomía Universidad de Chile. Santiago de Chile, 38.

Viana, J.E. (2008b). Importancia del silicio en la nutrición vegetal. Agromil. Tolima, Colombia (en línea). Consultado abril del 2014. Disponible en <http://www.silicioagromil.com>.

Victoriano, M. H. (2010). Organogenesis *in vitro* de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) Tesis de Maestría en ciencias. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIDIR-Michoacán. Instituto Politécnico Nacional, Jiquilpan, Michoacán, 45.

Zhidong, Z., Haiguang, L., Lin, W., Yadong, L. (2006). Technical system of blueberry micropropagation in China. Acta Hort, 71, 421-423.

Rojas Sánchez Blanca¹, Patricio Apérez-Barrios¹, José López-Medina¹,
María del Carmen Rocha-Granados^{1*}

EFICIENCIA DE REGENERACIÓN DE TRES SELECCIONES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)

ABSTRACT

In the present work the efficiency of regeneration of three selections of *Fragaria x ananassa* Duch (UM2, UM8 and UM9) by *in vitro* culture was evaluated. Additionally, the effect of inoculation of these selections with three strains of *Pseudomonas fluorescens* (UM16, UM256 and UM270) on root formation was evaluated. According to the results it was observed that between 15 and 20% of the apical meristems had phenolic oxidation, with respect to the number of shoots per explant selections UM8 and UM9 managed to obtain the highest number of shoots, with a total of 19.12 and 18.96 number of shoots respectively. In the inoculation there were no significant differences, with a higher root growth, while the highest seedling height was obtained with the interaction of UM8-UM270, with an average of 5.26 cm.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa*, cultivo *in vitro*, inoculación, *Pseudomonas fluorescens*

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la eficiencia de regeneración de tres selecciones de *Fragaria x ananassa* Duch (UM2, UM8 y UM9), mediante cultivo *in vitro*. Adicionalmente, se evaluó el efecto de la inoculación de dichas selecciones con tres

¹ Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas S/N Esq. Berlín, Col. Viveros. C. P. 60170. Uruapan, Michoacán, México. e-mail: rojassancblanca@gmail.com, patrick280485@gmail.com, joselopexmedina@gmail.com, crochagra@hotmail.com

* Autor para correspondencia: crochagra@hotmail.com

cepas de *Pseudomonas fluorescens* (UM16, UM256 y UM270) en la formación de raíz. De acuerdo con los resultados se obtuvo que entre el 15 y 20 % de los meristemos de estolón cultivados *in vitro* presentan oxidación fenólica, respecto al número de brotes por explante las selecciones UM8 y UM9 lograron obtener el mayor número de brotes, con un total de 19.12 y 18.96 número de brotes respectivamente. En la inoculación no hubo diferencias significativas, presentando mayor crecimiento de raíz el testigo, mientras que la mayor altura de la plántula se obtuvo con la interacción UM8-UM270 con un promedio de 5.26 cm.

INTRODUCCION

La fresa es una de las frutas de mayor aceptación mundial, y de las que tiene mayores usos entre los que se encuentran su exportación e importación como producto fresco, en la industria alimenticia y como saborizante en la repostería (Argelys, 2012). Adicionalmente su cultivo es de gran importancia socioeconómica, por las altas proporciones de ingresos generados por las divisas que obtiene el país a través de las exportaciones (Ávila y González, 2012). Las variedades utilizadas en México han sido desarrolladas por la Universidad de California y la Universidad de Florida, USA; a las cuales los productores deben pagar regalías para su comercialización (Sistema Producto Fresa, 2012). Con base a la problemática anterior, el Colegio de Posgraduados y el Instituto Nacional de Investigadores Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han generado nuevas variedades de fresa, sin embargo han sido menos aceptadas que las variedades extranjeras, lo que ha dificultado su expansión en la región (López *et al.*, 2011). Sánchez-Hernández (2015), propuso las selecciones UM1, UM2, UM8 y UM9, generadas del programa de mejoramiento genético de frutillas de la Facultad de Agrobiología, con potencial para convertirse en variedades basándose en la producción, calidad de la producción, sanidad y prolificidad de las plantas.

La fresa se propaga por vía agámica favoreciendo el enraizamiento de partes de la planta seleccionada por diversos métodos: división de la corona, por estolones y por cultivo de ápices culinarios *in vitro* (cultivo de meristemos) (Breanzati, 1989). Por ser una planta híbrida, no se utilizan sus semillas para propagarla excepto si se busca la variabilidad, mejoramiento genético y plantas libres de enfermedades (Ávila, 2015). En general, la aplicación de métodos de cultivo *in vitro* se considera la forma más efectiva para obtener poblaciones morfológicas y genéticamente estables de frutales (Hernández y González, 2010). Esto es posible gracias a la propiedad de totipotencia que tienen las células vegetales. Así, las células somáticas de cualquier tejido podrían formar tallos, raíces o embriones somáticos de acuerdo con la competencia que posea y

al estímulo que reciban (Olmos *et al.*, 2010). El cultivo *in vitro* resulta una alternativa para resolver problemas de dormancia (Janick, *et al.*, 1996), plagas y enfermedades (Tsao *et al.*, 2000), obtención masiva de plantas (Martinussen *et al.*, 2004) así como producción de biomoléculas de interés para la industria (Chung *et al.*, 2007). Para el establecimiento exitoso de las especies, se hace necesario prevenir y controlar la contaminación microbiana y oxidación fenólica, ya que constituye uno de los problemas más graves en la micropropagación de frutales (Hernández y González, 2010).

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), han sido ampliamente estudiadas por su capacidad para mejorar la salud y el desarrollo de las plantas. Las actividades positivas que ejercen en las plantas pueden incluir aquellas que son de interés agrícola, incrementando la producción y reduciendo costos (Rojas-Solís *et al.* 2016). La inoculación de plantas de cultivo con ciertas cepas de PGPR en una etapa temprana de desarrollo mejora la producción de biomasa a través de efectos directos sobre el crecimiento de raíces y brotes. (Saharan *et al.*, 2011). Estas bacterias son capaces de estimular el desarrollo de las plantas de manera directa e indirecta y poseen una serie de mecanismos complejos que interactúan entre sí para establecer relaciones benéficas, especialmente con las raíces de las plantas objetivo. (Camelo *et al.*, 2011) La influencia directa incluye la producción de fitohormonas, como por ejemplo, de ácido indolacético (AIA), del grupo de las auxinas; también de ácido giberélico (GA3), citoquininas (Dey, 2004) y ácido abscísico (ABA); o bien la capacidad de producir la enzima 1-aminociclopropano 1-carboxilato (ACC) desaminasa, que reduce el nivel de etileno en las raíces (Gholami *et al.*, 2009). Los efectos indirectos se deben a la modificación del ambiente rizosférico y su ecología, actuando como agentes de biocontrol de fitopatógenos mediante la liberación de sustancias como sideróforos, β -1, 3-glucanasas, quitinasas, antibióticos, pigmentos fluorescentes y cianidas (Cattelan *et al.*, 1999). Así, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de regeneración y efecto de la inoculación, en la formación de raíz, de tres cepas de bacterias *Pseudomonas fluorescens* (UM16, UM256 y UM270) sobre tres selecciones avanzadas de fresa (UM2, UM8 y UM9).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se utilizaron plantas de tres selecciones avanzadas de fresa: UM2, UM8 y UM9, provenientes del invernadero asignado al Programa de Mejoramiento Genético de Frutillas de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Oxidación fenólico. Para este experimento se emplearon como explantes estolones de

fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*). Los estolones se lavaron con agua corriente para eliminar la suciedad y posteriormente se mantuvieron en agitación en agua corriente, jabón, captan (1 g L⁻¹), ácido cítrico y *streptomycina* (1 g L⁻¹) durante 5 min. Tras enjuagar tres veces con agua destilada estéril se aplicó etanol al 100% durante 45 segundos. La desinfección se realizó mediante de la aplicación de Hipoclorito de sodio al 10% con tween durante 15 minutos, finalmente se realizaron 3 enjuagues con agua destilada estéril. Se establecieron 25 meristemas de estolones por cada selección en medio MS (Murashige y Skoog), con 30 g L⁻¹ de sacarosa y 8 g L⁻¹ de Plant-agar. Se realizó un conteo del porcentaje de meristemas que se oxidaron de cada una de las selecciones de fresa después de haber transcurrido cinco semanas de su establecimiento *in vitro*.

Inducción de brotes. Para optimizar la inducción de nuevos brotes se utilizaron sustancias inductoras como el AIA (Ácido indoacético) a una concentración de 2 mg L⁻¹, para promover la división celular; 0.1 mg L⁻¹ IBA (Ácido indolbutírico) para la inducir la formación de callos; 3 mg L⁻¹ de BAP (Bencilaminopurina) para la germinación de los embriones y 400 mg L⁻¹ de caseína hidrolizada que induce la formación de yemas axilares a partir de las cuales se obtuvieron nuevas plántulas, que pasaran a la fase de enraizamiento hasta que logren desarrollar un sistema radicular bien conformado. Se establecieron 25 meristemas de estolones por cada variedad y se mantuvieron durante 5 semanas en presencia de hormonas y posteriormente se transfirieron a medio sin reguladores durante otras 5 semanas. Se realizó un conteo del número de brotes obtenidos de cada uno de los meristemas de cada una de las selecciones de fresa después de 5 semanas de permanecer en presencia de hormonas.

Cepas bacterianas. Las cepas bacterianas empleadas fueron *Pseudomonas fluorescens* UM16, UM256 y UM270; las cuales fueron aisladas de la rizósfera de plantas y caracterizadas previamente (Hernández-León *et al.*, 2014) y proporcionadas por el Dr. Gustavo Santoyo, Profesor Investigador de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Para el crecimiento de bacterias se realizó medio de cultivo líquido de papa:dextrosa para cada una de las cepas bacterianas, con la ayuda de una asa bacteriológica se realizó la inoculación del medio de cultivo con cada una de las bacterias. Se mantuvieron en constante agitación durante 48 horas posterior a su inoculación.

Inoculación de los brotes cultivados *in vitro* con las bacterias. Se establecieron 25 brotes de cada selección (UM2, UM8 y UM9) obtenidos del proceso de multiplicación para cada una de las cepas de *pseudomonas fluorescens* (UM16, UM256 y UM270), los cuales fueron sumergidos en sus respectivas cepas bacterianas para su inoculación, posteriormente se colocaron en medios de cultivo MS para su establecimiento *in vitro*. Se establecieron 25 brotes adicionales de cada una de las selecciones para ser

cultivados directamente *in vitro* sin ningún tipo de inoculación bacteriana (testigo), donde permanecieron durante 5 semanas después de su inoculación. Al transcurrir un lapso de 5 semanas de la inoculación de los tres tipos de bacterias sobre cada uno de los brotes de las tres diferentes selecciones de fresa, se midió la altura de cada plántula y el crecimiento de la raíz de cada plántula.

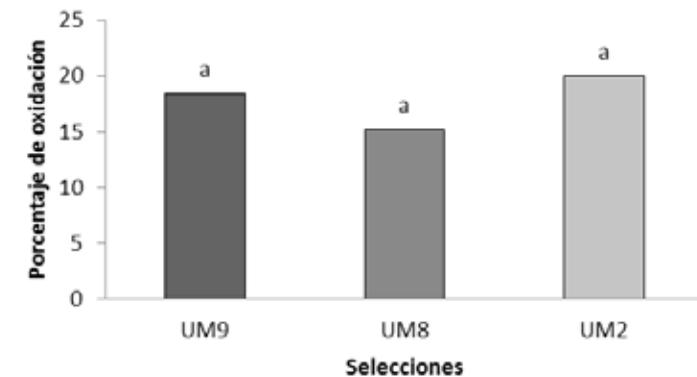
Con los datos obtenidos de cada variable, se hizo un análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de oxidación fenólica

El porcentaje de oxidación no mostró diferencias significativas entre selecciones (Figura 1), se mostró que entre el 15 y 20 % de los meristemas de estolón cultivados *in vitro* en un medio MS básico presentan oxidación fenólica, respuesta similar ha sido reportada por Debnath (2005), en este estudio se observó que del 85-90% de las plántulas de fresa Bounty (*Fragaria x ananassa Duch.*), propagadas *in vitro* sobrevivieron a la oxidación fenólica.

Figura 1 Porcentaje de oxidación de tres selecciones de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cultivadas *in vitro*



Inducción de brotes

El número de brotes mostró cambios altamente significativos entre selecciones (Figura 2). La selección UM8 y UM9 lograron obtener el mayor número de brotes, siendo estadísticamente iguales con un total de 19.12 y 18.96 número de brotes respectivamente.

La variedad UM2 obtuvo el 46.45% menos número de brotes respecto a la variedad UM9 (Figura 3). Respuesta similar a la selección UM2 ha reportado Sakila (2007), en este estudio la tasa más alta de proliferación de brotes de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) se obtuvo con 1.5 mg L⁻¹ de BA + 0.5 mg L⁻¹ en combinación de KIN donde 88% explantes mostraron proliferación con un promedio de 9.3 de brotes desarrollados.

Figura 2 Número de brotes de tres selecciones de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cultivadas *in vitro*

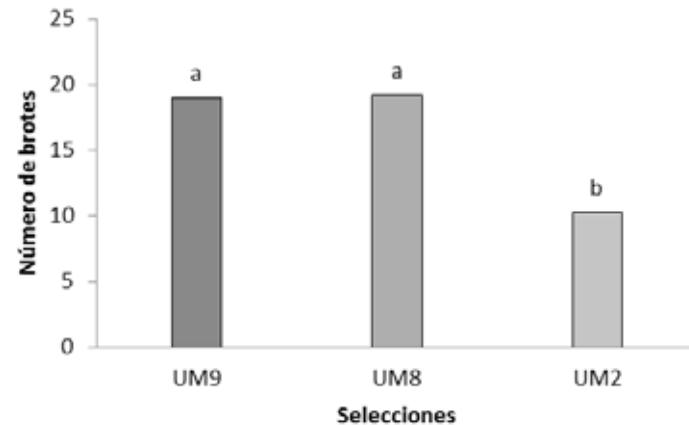


Figura 3 Inducción de brotes de tres selecciones de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cultivadas *in vitro*



Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la

formación de raíces adventicias en brotes de fresa cultivados *in vitro*

La selección, inoculante y la interacción S*I mostraron diferencias altamente significativas (Figura 4). La selección UM9 sin ninguna cepa inoculante (testigo) obtuvo el mayor crecimiento de raíz con 7.3 cm. El menor crecimiento de raíz se presentó en las interacciones UM2 con sus tres tipos de inoculantes, las cuales fueron estadísticamente iguales y obtuvieron menos del 35% de crecimiento respecto a la selección con mayor crecimiento (Figura 6). Es importante destacar que para cada una de las selecciones de manera independiente se puede mostrar que el crecimiento de raíz es mayor en los tratamientos testigo. Respuestas similares fueron encontradas en la promoción de crecimiento en tomate (*Physalis ixocarpa Brot. Ex Horm.*), mediante las combinaciones de cepas UM96 + UM16, UM96 + UM240 y UM96 + 270, en las que no se promovió el desarrollo de las plántulas de tomate verde (Rojas-Solís *et al.*, 2016).

La interacción UM8-UM270 presentó la mayor altura de la plántula con 5.26 cm de altura. La menor altura de la plántula se presentó en las interacciones UM2 con sus tres tipos de inoculantes, las cuales fueron estadísticamente iguales y obtuvieron menos del 44% de altura respecto a la interacción con mayor altura (Figura 5), lo cual concuerda con Santoyo, *et al.* (2016) que ha demostrado que UM16, UM240, UM256 y UM270 aumentaron significativamente la biomasa y el contenido de clorofila, además de presentar un alto grado de antagonismo contra el fitopatógeno *Botrytis cinerea*.

Respecto a las selecciones de fresa de manera independiente se puede mostrar que dentro de cada selección las interacciones fueron estadísticamente diferentes, en cuanto a la selección UM9 se puede observar que el tratamiento testigo y la interacción UM9-UM270 son estadísticamente iguales y presentan la mayor altura de la planta (Figura 5). Dentro de la selección UM8 se puede mostrar que la interacción con la cepa 270 fue la obtuvo mayor altura de la plántula y en la selección UM2 la mayor altura de la plántula se presentó en el tratamiento testigo (Figura 5), dichos resultados concuerdan con lo reportado por Santoyo, *et al.* (2016), determinó que la cepa UM270 presenta características únicas que implican la interacción planta-bacteria de colonización de la rizósfera.

Figura 4 Crecimiento de raíz de tres selecciones de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*)

cultivadas *in vitro* en función de tres tipos de bacterias inoculantes

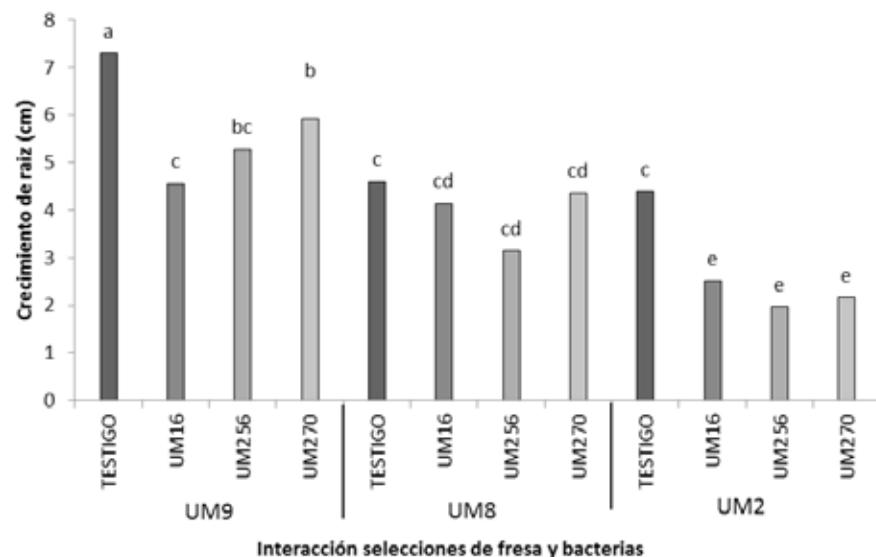


Figura 5 Altura de la plántula de tres selecciones de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivadas *in vitro* en función de tres tipos de bacterias inoculantes

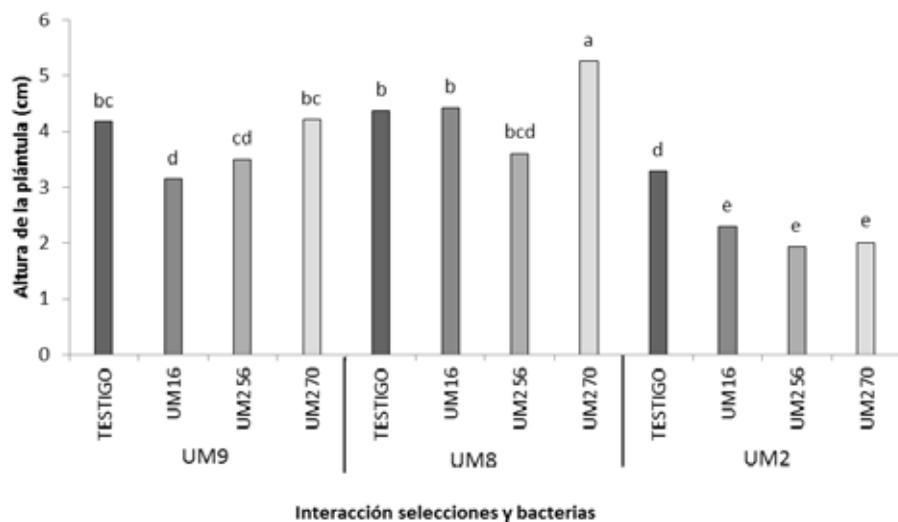


Figura 6 Crecimiento de raíz y altura de tres selecciones de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivadas

in vitro en función de tres tipos de bacterias inoculantes. A:UM9-TESTIGO, B:UM9-UM16, C:UM9-UM256, D:UM9-UM270, E:UM8-TESTIGO, F:UM8-UM16, G:UM8-UM256, H:UM9-UM270, I:UM2-TESTIGO, J:UM2-UM16, K:UM2-UM256 y L:UM2-UM270



CONCLUSIÓN

El cultivo *in vitro* es una alternativa eficiente para la obtención de plántulas de fresa de calidad, permitiendo una propagación vegetativa rápida y segura. En este trabajo experimental se observó diferencias en cuanto al tipo de selección de fresa, siendo las selecciones UM9 y UM8 las que presentan excelente capacidad de inducción de brotes, no obstante la selección UM2 se encuentra dentro de los altos parámetros reportados en la literatura. Las tres selecciones de fresa inoculadas con las cepas bacterianas *Pseudomonas fluorescens* en cultivo *in vitro* presentaron un efecto negativo en el crecimiento de raíz. La interacción de la selección UM8 con la cepa bacteriana UM270 mostró un efecto promotor del crecimiento de plántulas de fresa.

LITERATURA CITADA

Argelys, K. D. (2012). Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos. Cultivos Tropicales, 33, 34-41.

Ávila Arce, A., González Milán, D. (2012). La competitividad de las fresas (*Fragaria* spp.) mexicanas en el mercado nacional, regional y de estados unidos. Facultad de Economía y Relaciones Internacionales de la Universidad Autónoma de Baja California, 9, 17-27.

Ávila Cubillos, E. P. (2015). Manual: Fresa. Cámara de Comercio de Bogotá, 21 p.

Branzanti, E. C. (1989). La fresa. Mundi-Prensa, Primera Edición.

Cattelan, A. J., Hartel, P. G., Fuhrmann, J. J. (1999). Screening for plant growth rhizobacteria to promote early soybean growth. Soil Sci Soc Am J, 63, 1670-1680.

Chung, M., Hong, S. B., Peebles, C.A.M., Kim, J.A., San, K. Y. (2007). Effect of the engineered indole pathway on accumulation of phenolic compounds in *Catharanthus roseus* hairy roots. Biotechnol Prog, 23, 327-332.

Debnath, S. C. (2005). Strawberry sepal: Another explant for thidiazuron-induced adventitious shoot regeneration. In Vitro Cell Dev Biol, 41, 671-676.

Dey, R., Pal, K. K., Bhatt, D. M., Chauhan, S. M. (2004). Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L) by application of plant growth promoting rhizobacteria. Microbiology Research, 159, 371-394.

Gholami, A., Shahsavani, S., Nezarat, S. (2009). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering, 3, 19-24.

Hernández León, R., Rojas Solís, D., Contreras Pérez, M., Orozco Mosqueda, Ma. Del C., Macías Rodríguez, L. I., Reyes de la Cruz, H. et al. (2014). Characterization of the antifungal and plant growth-promoting effects of diffusible and volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* strains. Biological Control, 1-18.

Hernández, Y., González, M. (2010). Efectos de la contaminación microbiana y oxidación

Fenólica en el establecimiento *in vitro* de frutales Perennes. Cultivos Tropicales, 31, 58-69.

Janick, J., Moore, J.N. (1996). Fruit Breeding. Vol II, "Vine and small fruits". New York. López Aranda, J. Soria, M., Santos, B., Miranda, L., Domínguez, P., and Medina Mínguez, J.J. (2011). Strawberry production in mild climates of the world: A review of current cultivar use. International Journal of Fruit Science, 11, 232- 244.

Martinussen, I., Nilsen, G., Svenson, L., Junttila, O., Rapp, K. (2004). *In vitro* propagation of cloudberry (*Rubus chamaemorus*). Plant Cell Tiss and Organ Cult, 78, pp: 43-49.

Olmos, S., Luciani, G., Galdeano, E. (2010). Métodos de propagación y conservación de germoplasma. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II, 351-369.

Rojas Solís, D., Hernández Pacheco, C. E., Santoyo, G. (2016). Evaluation of *Bacillus* and *Pseudomonas* to colonize the rhizosphere and their effect on growth promotion in tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). Revista Chapingo Serie Horticultura, 22(1), 45-57.

Saharan, B. S. y Nehra, V. (2011). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. Life Sciences and Medicine Research, 21, 1-15.

Sakila, S., Ahmed, M. B., Roy, U. K., Biswas, M. K., Karim, R., Razvy, M. A. et al. (2007). Micropropagation of Strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch.). A Newly Introduced Crop in Bangladesh, American-Eurasian Journal of Scientific Research, 2, 151-154.

Sánchez Hernández, Y. (2015). Caracterización morfológica y productiva de selecciones avanzadas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 90-103.

Santoyo, G.; Hernández-León, R.; Hernández-Salmerón, J. 2016. Identification of compounds involved in plant growth-promotion in *P. fluorescens* and insights from the genome sequence. Biotechnology Summit, 9, 234-238.

Sistema Producto Fresa. (2012). Plan Rector del Sistema Nacional de Fresa. Comité de la Agroindustria y Productores de la fresa A. C. Disponible en: http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/exp_cnsp_fresa/plan%20rector (Ultimo acceso: 26 de mayo del 2017).

PRODUCCIÓN DE LECHUGAS EN HIDROPONÍA CON SISTEMA DE SOLUCIÓN ESTÁTICA Y AIREACIÓN CAPILAR, DESDE UN ENFOQUE DE HORTICULTURA URBANA

ABSTRACT

The use of non-woven (NW) in the hydroponics of static solution presents an excellent alternative to reduce energy costs of aeration, offering a simplicity in assembly and maintenance, used in the production of food by the urban families. The objective of this experiment was to evaluate the effect of five levels of fertilization and five volumes of soil in the production of lettuce in hydroponics in the static solution system and capillary aeration using NW. The levels of fertilization presented greater weight on the evaluated production characteristics and the NW was efficient in providing the aeration necessary to the development of lettuces. We conclude that the poor urban families can use the hydroponics system with static solution system and capillary aeration as an alternative food production.

Key words: Capillary aeration, fertilization, soil

INTRODUCCIÓN

La población mundial está creciendo de forma acelerada y está en busca de mejores condiciones de vida en la ciudad. En 2030, la mitad de la población mundial será pobre y el 60% de esta población vivirá en las ciudades (Dubbeling *et al.*, 2009). En la actualidad,

las familias pobres utilizan del 60% a 80% de sus ingresos en la alimentación, reduciendo así la capacidad de adquisición de alimentos saludables (Moreno, 2007; Villarreal, 2008). Ante esta situación, una alternativa para mejorar las condiciones de vida de la población pobre que vive en la ciudad consiste en la práctica de la horticultura, que versa en la producción de raíces, tubérculos, follaje y frutos en el interior o en la periferia de las ciudades, con fines de autoconsumo familiar y comercialización (Rimache, 2009; Torres, 2000). La producción de alimentos vegetales en la ciudad contribuye con diversos beneficios económicos, sociales y ambientales (Aldous, 2013), como la mejora de los hábitos alimenticios (Alaimo *et al.*, 2008), aumenta la actividad física (Van den Berg *et al.*, 2010), disminuye el estrés y mejora la percepción de la salud (Largo-Wight, 2011; Maas *et al.*, 2006), crea redes sociales a nivel comunidad y familiar (Infantino, 2005; Milligan *et al.*, 2004), mejora la percepción de la naturaleza (Mosquera, 2009) y contribuye en el aumento del ingreso familiar (FAO, 2012).

Los sistemas hidropónicos, tienen la finalidad de producir vegetales en agua o en sustratos con pequeña actividad química, y se clasifican en cuanto al tipo de sustrato y suministro de la solución. Actualmente, la producción de vegetales en sistemas hidropónicos es muy utilizada en países con problemas de invierno riguroso, limitaciones de área y escasez hídrica. El cultivo hidropónico comercial es muy común en la producción de hortalizas como lechuga, tomate, pimiento y pepino. La producción de vegetales en hidroponía presenta ciertas ventajas, como un mayor rendimiento por área, mejora en la calidad nutricional de los productos, disminución de daños por plagas y enfermedades, reducción del ciclo del cultivo, condiciones ambientales controladas y eficiencia en el uso del agua. Los sistemas típicos de hidroponía, se caracterizan por la demanda de equipos eléctricos utilizados en la aireación o circulación de la solución nutritiva; presentan un alto mantenimiento de la solución nutritiva, mayores costos de inversión y alto conocimiento técnico (Martínez y Clemente, 2011).

Sin embargo, el uso de los sistemas hidropónicos por las familias urbanas pobres resultaría costoso y complicado, impidiendo la adopción de esta tecnología. Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar tecnologías que se adapten a los materiales disponibles de la región, al espacio de la vivienda y a las condiciones socioeconómicas. El uso de hidroponía NW presenta una excelente alternativa para minimizar los costos de energía, así también como una simplicidad en la instalación, mantenimiento y control sanitario (Silva *et al.*, 2006). Por tanto, esta técnica presenta potencial para ser utilizada para producir alimentos en los hogares urbanos. Son pocos los estudios realizados con NW y se necesita mayor información sobre el uso de otras fuentes de fertilización mineral suministrada vía solución nutritiva. El objetivo de este trabajo fue

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Cotaxtla. C.P. 91700. E-mail: toral.marco@inifap.gob.mx; peralta.nain@inifap.gob.mx; mendoza.maurilio@inifap.gob.mx

evaluar el efecto de diferentes niveles de fertilización y diferentes volúmenes de suelo en la producción de lechugas en hidroponía con sistema de solución estática y aireación capilar. La hipótesis utilizada en esta investigación consistió en que al menos uno de los tratamientos de solución estática con aireación capilar, con diferentes niveles de fertilización y con diferentes volúmenes de suelo tendrá una producción de lechuga similar al tratamiento con solución nutritiva y aireación. Los tratamientos fueron definidos por una matriz baconiana, formando nueve tratamientos del resultado de un arreglo combinado para factorial incompleto de 5x5, más tres tratamientos control. El delineamiento experimental utilizado fue de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones, con un total de 48 unidades experimentales. Los niveles base o referencia probados fueron: 200 gramos de suelo y fertilización completa con una fuerza.

METODOLOGÍA

Localización. El experimento fue desarrollado del 28 de septiembre al 28 de octubre de 2016, en un invernadero de vidrio del departamento de Fitotecnia, de la Universidad Federal de Viçosa, municipio de Viçosa, estado de Minas Gerais, Brasil. Situado entre las coordenadas geográficas de 20°45'14 '' latitud sur y 42°52'53 '' de longitud oeste, a una altitud de 648.74 msnm.

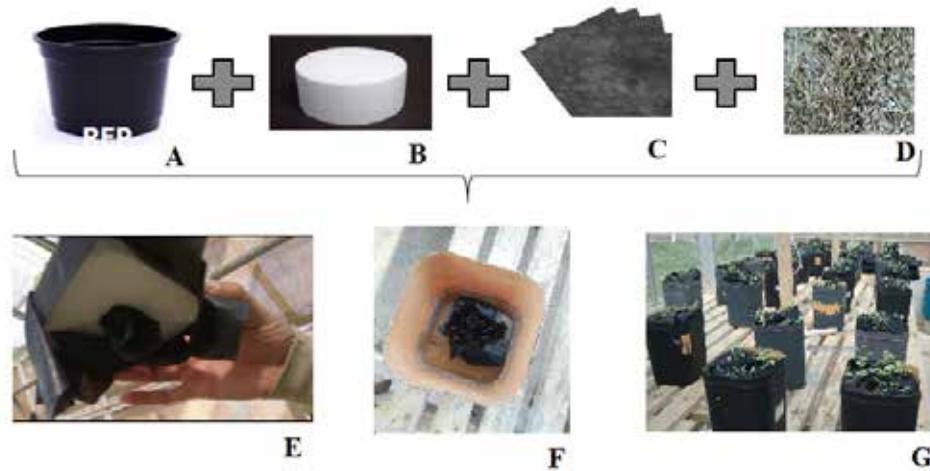
Diseño experimental. Los factores en estudio fueron volumen de suelo y fuerza de la fertilización, cada uno con cinco niveles. Los tratamientos fueron definidos por una matriz baconiana, formando nueve tratamientos del resultado de un arreglo combinado para un factorial incompleto de 5x5, más tres tratamientos control (Tabla 1). De acuerdo con el objetivo de este trabajo, sólo se utilizó una fracción de todas las posibles combinaciones. Los niveles base o referencia probados fueron: 200 gramos de suelo y fertilización completa con una fuerza. El delineamiento experimental utilizado fue de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones, con un total de 48 unidades experimentales.

Tabla 1. Distribución del volumen de suelo y nivel de fuerza de la fertilización en el experimento de lechuga en hidroponía con sistema de solución estática y aireación capilar utilizando el NW

Tratamientos	Solución	Volumen de suelo (g)	Fuerza de la fertilización
1	Agua	200	0.5
2	Agua	200	1
3	Agua	200	2
4	Agua	200	3
5	Agua	200	4
6	Agua	100	1
7	Agua	350	1
8	Agua	500	1
9	Agua	650	1
10	Agua, solución nutritiva y aireación	-	1
11	Agua y solución nutritiva	-	1
12	Agua	200	-

Implantación del experimento. La unidad experimental fue compuesta por un vaso de plástico con capacidad para 1.7 L. Estos vasos fueron lavados e identificados con los respectivos tratamientos y fue agregado cerca de 1.4 L de agua desionizada. En cada vaso de plástico se colocó como soporte láminas de unicelel con 1.5 cm de espesor, recubiertas con NW negro (40 x 40 cm). El NW fue previamente lavado con detergente y embebido en solución nutritiva para romper la tensión superficial. Posteriormente, el NW fue remojado en agua durante 24 h, a fin de garantizar la capilaridad. Sobre el NW próximo a los agujeros, fueron colocadas 50 semillas de lechuga de la variedad Simpson semilla negra. Después de la germinación de las semillas, fue estandarizado el crecimiento de 20 plántulas de lechuga por vaso. Los diferentes volúmenes de suelo fueron envueltos con NW "paquetes" seguido de un amarre en los bordes utilizando ligas de plástico. Los paquetes de suelo fueron colocados en el fondo de los vasos de plástico (Figura 1).

Figura 1. Esquema del montaje experimental. Vaso plástico con capacidad de 1.7 L (A); lámina de unisel (B); NW de 40x40 cm (C); semillas de lechuga (D); lámina de unisel cubierta con TNT (E); paquete de suelo dentro del vaso de plástico (F); visión general del experimento con semillas germinadas (G)



Fertilización de los tratamientos. Se utilizó suelo de horizonte C de tipo Latosol Rojo Distrófico y la Tabla 2 se muestra las características nutrimentales. El suelo fue fertilizado de acuerdo a la recomendación propuesta por Novais *et al.* (1991) para el cultivo de lechuga (Tabla 3). El calcio y el magnesio se suministraron a través de cal dolomítica (15 g / 2L de suelo) suplementado con fertilización nitrogenada ($\text{Ca}_2\text{NO}_3\text{NO}_3\text{Mg}_2$). Para los tratamientos con solución nutritiva se utilizó la solución de Prince y Koontz (1984), descrito en la Tabla 4. En los tratamientos con diferentes volúmenes de suelo, los micronutrientes fueron suministrados a través de la aplicación de la solución stock en el suelo. En la Tabla 5, se muestran los requerimientos de las concentraciones de sales de macronutrientes y micronutrientes suministrados en los diferentes volúmenes de suelo.

Tabla 2. Características de pH, materia orgánica (MO) y nutrientes (mg.kg^{-1}) del suelo utilizado en el experimento de hidroponía con lechuga

pH	MO (%)	mg.kg^{-1}								
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
4.64	0.90	9	17.19	80	673	103	2.06	Trazas	Trazas	1.72

Tabla 3. Recomendación de la fertilización de suelo de tipo Latosol Rojo Distrófico para el cultivo de lechuga

Nutriente	Concentración (mg/kg de solo)	Fuente
N	100	KNO_3 , Ca_2NO_3 , Mg_2NO_3
P	300	Superfosfato Simples (18% P_2O_5)
K	150	KNO_3
S	40	Superfosfato Simples (10% S)
B	0.81	H_3BO_3
Cu	1.33	CuSO_4
Fe	1.55	Fe-EDTA
Mn	3.66	MnSO_4
Mo	0.15	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$
Zn	4.0	ZnSO_4

Tabla 4. Composición de la solución nutritiva de Prince y Koontz (1984) utilizada en los tratamientos de solución nutritiva

Macronutrientes	mmol.L^{-1}	Micronutrientes	$\mu\text{mol.L}^{-1}$
N-NO_3^-	14.7	B	46.0
H_2PO_4^-	1.6	Cu	0.8
K^+	5.4	Fe	54.0
Ca^{2+}	5.0	Mn	9.0
Mg^{2+}	1.2	Mo	1.0
S-SO_4^{2-}	1.2	Zn	2.3

Tabla 5. Concentraciones de sales utilizadas para suministrar los requerimientos de macronutrientes y micronutrientes basados en los niveles de fuerza de la fertilización de los tratamientos

Tratamientos									
Sal	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
	mg								
KNO ₃	186.5	372.9	745.8	1118.7	1491.7	186.46	652.6	932.30	1211.9
Mg ₂ NO ₃	43.2	86.4	172.8	259.2	345.6	43.2	151.2	216.0	280.8
Ca ₂ NO ₃	84.3	168.8	337.5	506.3	675.1	84.4	295.3	421.9	548.5
P ₂ O ₅	1.8	3.7	7.3	10.1	14.6	1.8	6.4	9.1	11.8
Superfosfato simple	0.2	0.3	0.7	1.1	1.5	0.2	0.6	0.9	1.2
FeCl ₃	3.6	7.2	14.4	21.6	28.8	3.6	12.6	18.0	23.4
CuSO ₄	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0	2.5	8.8	12.5	16.3
MnSO ₄	5.4	10.8	21.6	32.4	43.2	5.4	18.9	27.0	35.1
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	0.1	0.5	0.7	0.8
H ₃ BO ₃	2.2	4.4	8.9	13.3	17.8	2.2	7.8	11.1	14.5
ZnSO ₄	8.4	16.8	33.5	50.3	67.0	8.4	29.3	41.9	54.5
Na ₂ EDTA	5.0	9.9	19.9	29.8	39.7	4.9	17.4	24.8	32.3

Principales variables. Se realizaron mediciones de conductividad eléctrica mS.cm⁻¹ (CE) y de potencial de hidrógeno (pH) en el agua de las 48 unidades experimentales. No se realizó la reposición de nutrientes. La reposición de agua fue realizada y estimada en mililitros (mL) cuando los vasos presentaron una reducción de 30% del volumen inicial. Al final del experimento se midieron las siguientes variables: materia seca de parte aérea (MSPA), materia seca de raíz (MSR), materia seca total (MST), área foliar total (AFT) y área foliar por planta (AFP). El follaje de la parte aérea y raíz de cada repetición fueron colocadas en una estufa de secado con circulación forzada de aire a 60°C, hasta la obtención de un peso constante de materia seca. El área foliar fue realizada en cm² a través de un integrador de área (LI-COR, modelo 3100).

Los datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias por el test de Tukey (P ≤ 0.05) fue realizada en el paquete estadístico SAS (SAS institute Inc., 2004). Se realizaron regresiones lineares simples de todas las variables y fueron graficadas aquellas que presentaron una alta correlación. Los gráficos fueron elaborados en el programa Excel.

RESULTADOS

Durante el crecimiento de las plantas de lechuga se realizaron mediciones de pH del agua en todos los tratamientos y éstos mostraron una estabilización (Figura 2A). Se observa que los tratamientos 3, 4 y 5 presentaron un valor de pH por debajo de 6.0, y los demás tratamientos se situaron por encima de 6.0 de pH. El comportamiento del pH de los tratamientos 3, 4 y 5, con 200 g de suelo se debe a las diferentes fuerzas de fertilización, al comprobarse que existe una alta correlación negativa entre los niveles de fuerza de fertilización y pH del agua (R² = 0.9207; Figura 3B). Existe una asociación negativa entre volumen de suelo y el pH del agua (R² = 0.6415), siendo que a mayor volumen de suelo, menor es el pH del agua. Los tratamientos con solución nutritiva con aireación (tratamiento 10) y sin aireación (tratamiento 11) presentaron un aumento del pH durante el monitoreo el experimento y esto se debe al rápido agotamiento de los nutrientes.

Todos los tratamientos presentaron una disminución de la CE, se comprobó que la CE tuvo influencia en el crecimiento de la lechuga. La variación de la CE afecta la absorción de agua y nutrientes en las plantas, interfiriendo en el metabolismo y en el crecimiento (Barbieri *et al.*, 2010). El efecto de diferentes fuerzas de fertilización con un volumen de 200 g de suelo, presentó un aumento en la CE de los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (Figura 3A). Este mismo resultado fue observado en los tratamientos con diferentes volúmenes de suelo (Figura 3C). Los resultados revelan que no hay una CE ideal para la solución nutritiva, pero un rango de CE adecuado debe variar de 0.75 a 1.5 mS.cm⁻¹, para condiciones de alta temperatura (Costa *et al.*, 2001; Barbieri *et al.*, 2010). En este trabajo se observó, que los tratamientos con sistema de solución estática y aireación capilar presentaron una CE superior a 2 mS.cm⁻¹ y la ganancia de biomasa fue similar a los tratamientos testigos.

De manera general, el consumo de agua por las plantas de lechuga se fue aumentando a lo largo del ciclo de cultivo (Figura 2C). Este resultado era esperado porque el aumento de biomasa está directamente relacionado con el consumo de agua, necesario en el intercambio de gases (Gooudrian y Keulen 1978; Detomini *et al.*, 2009). Los tratamientos sin suelo presentaron una curva de consumo de agua más acentuada en el tercio final del cultivo. El consumo total de agua por las plantas mostró una alta correlación con las variables MST y AFT de los tratamientos con diferentes fuerzas de fertilización (Figura 4A). Los tratamientos 1 y 2 con menor fuerza de fertilización; así como el tratamiento 6, con menor volumen de suelo, tuvieron un menor consumo de agua, una menor AFT y una menor acumulación de MST (Figura 4B).

A los 30 días después de la siembra, se cosecharon las lechugas de cada uno de los vasos para estimar las variables MSPA, MSR, AFT y AFP; dichas medias presentaron

diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos (Tabla 6). El tratamiento 12 (con agua y suelo sin fertilización), presentó las menores medias de AFT y AFP. Los tratamientos 6, 7, 8 y 9 (con diferentes concentraciones de fertilización) mostraron los mejores promedios de AFT y AFP. El tratamiento 10 (solución nutritiva con aireación) es estadísticamente igual al tratamiento 11 (solución nutritiva sin aireación) en todas las variables de crecimiento en plantas de lechugas. Por lo tanto, el uso de NW proporcionó un ambiente adecuado para el desarrollo radicular, sin necesidad de oxigenar la solución nutritiva (Tabla 7).

Figura 2. Potencial de hidrogeno p.H. (A), conductividad eléctrica del agua (B) y consumo de agua por las plantas durante el experimento (C)

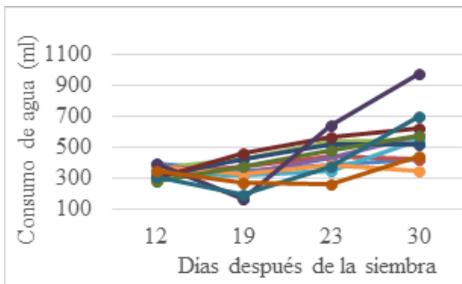
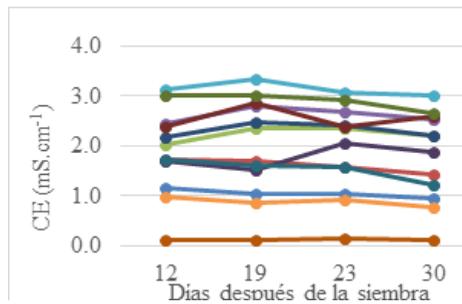
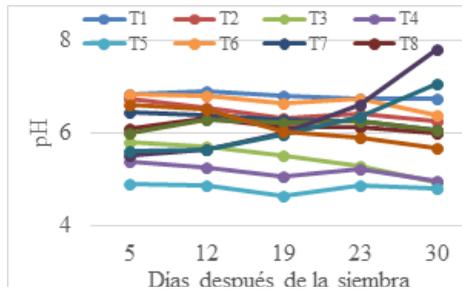


Figura 3. Conductividad eléctrica (A) y potencial de hidrógeno p.H del agua (B) en función de la concentración de nutrientes, y conductividad eléctrica en función del volumen de suelo (C)

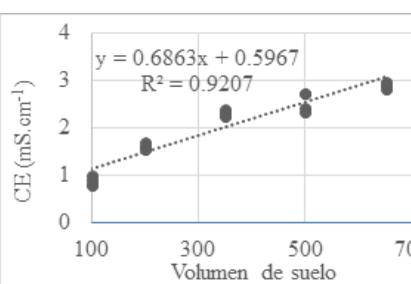
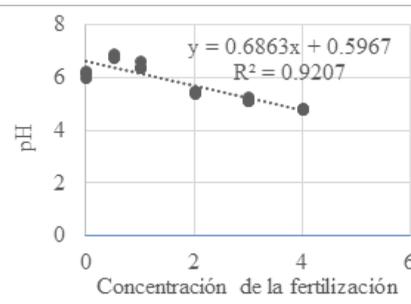
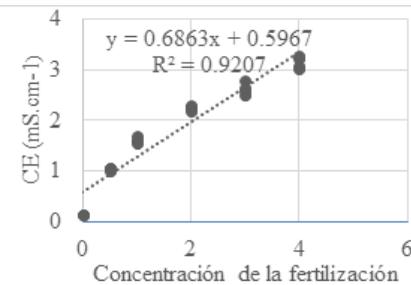


Figura 4. Materia seca total (A) y área foliar total (B) en función al consumo de agua

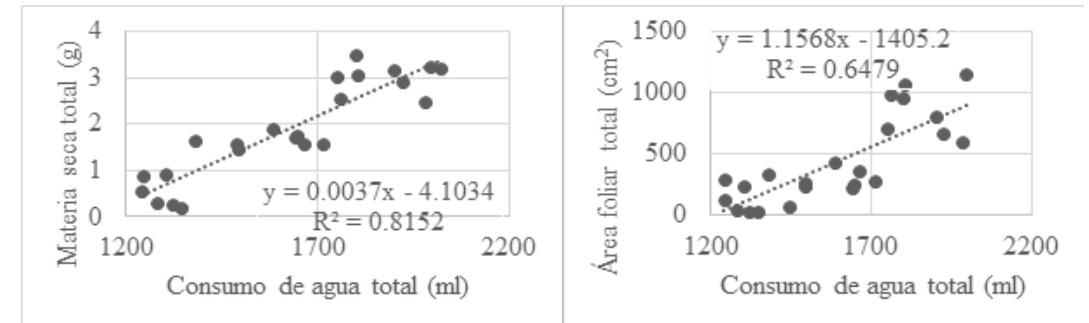


Tabla 6. Cuadrados medios y coeficientes de variación de las variables de crecimiento evaluadas en lechuga

F.V.	Cuadrado medio				
	gl	MSPA	MSR	AFT	AFP
Bloque	3	0.926*	0.017*	257781.0*	752.554*
Tratamiento	11	1.986**	0.029**	493499.0**	2006.627**
Error	33	0.313	0.005	81608.0	255.140
Total	47				
Media		1.79	0.20	630.61	34.72
CV (%)		21.23	25.59	35.30	35.99

*= significativo a 5 % de probabilidad y **= significativo al 1% de probabilidad por el test "F". MSPA= Materia seca de parte aérea; MSR= materia seca de raíz; AFT= área foliar total; AFP= área foliar por planta

El tratamiento 12 presentó una media inferior de MSPA en comparación con el resto de los tratamientos. Entonces, es posible que el tratamiento 12 no pueda suplir la demanda de nutrientes para las plantas. Los tratamientos con diferentes volúmenes de suelo y los tratamientos con diferentes concentraciones de fertilización, son estadísticamente iguales en la variable MSPA (Tabla 7). Los tratamientos 3, 7 y 8 presentaron los mayores promedios de MSR, pero estadísticamente son iguales a los demás tratamientos. Los tratamientos 10 y 11 fueron iguales en materia seca de raíz, por tanto, el uso de NW logró ofrecer un ambiente satisfactorio en el crecimiento de las raíces (Tabla 7).

Tabla 7. Promedio y desviación estándar de las variables de crecimiento en plantas de lechuga

TRAT	MSPA	MSR	AFT	AFP
1	1.41± 0.097 ab	0.20± 0.049 abc	245.46± 15.96 bc	10.80± 1.702 dc
2	1.40± 0.213 ab	0.25± 0.072 ab	346.56± 66.41 abc	16.40± 4.061 d
3	2.58± 0.322 a	0.30± 0.050 a	692.67± 91.95 abc	31.51± 5.574 bdc
4	2.46± 1.072 a	0.20± 0.049 abc	966.84± 108.36 ab	55.09± 14.45 ab
5	1.67± 1.158 a	0.14± 0.015 abc	636.43± 76.57 abc	46.554± 16.48 bca
6	1.23± 0.145 ab	0.19± 0.029 abc	233.07± 52.89 bc	11.14± 2.725 dc
7	2.10± 0.616 a	0.32± 0.039 a	1046.44± 129.10 ab	27.28± 3.878 bdc
8	2.48± 0.296 a	0.31± 0.072 a	799.12± 41.84 abc	34.62± 3.330 bdc
9	2.00± 0.593 a	0.23± 0.010 ab	977.73± 105.98 ab	54.35± 18.55 ab
10	1.39± 0.450 ab	0.10± 0.045 bc	781.62± 148.44 abc	51.22± 16.62 ab
11	2.53± 0.825 a	0.16± 0.087 abc	1211.07± 197.36 a	75.89± 10.39 a
12	0.23± 0.058 b	0.03± 0.004 c	43.65± 18.88 c	1.84± 0.954 d

Cada valor representa el promedio de las cuatro repeticiones ± error estándar. Medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

Los tratamientos de solución estática con aireación capilar, con 200 g de suelo y con más de tres fuerzas de fertilización (3, 4 y 5) presentaron una producción de lechuga similar al tratamiento control con solución nutritiva y aireación. Por tanto, el NW fue eficiente en proporcionar la aireación necesaria para el desarrollo de las lechugas.

Las diferentes fuerzas de fertilización y diferentes volúmenes de suelo influyen en la producción de lechugas en hidroponía. Sin embargo, el factor fuerza de fertilización presenta mayor peso sobre las características agronómicas evaluadas. Además, la utilización de suelo fue eficiente en el taponamiento del pH de la solución de agua.

El sistema hidropónico con solución estática y aireación capilar puede ser utilizado como alternativa de producción de lechugas en el área urbana.

LITERATURA CITADA

Alaimo, K., Packnett E., Miles R., Kruger D. (2008). Fruit and vegetable intake among urban community gardeners. *Journal of Nutrition, Education and Behaviour*, 40(2), 94-101.

Barbieri, E. y Melo, F. (2010). Condutividade elétrica ideal para o cultivo hidropônico de alface em ambiente tropical. *Horticultura Brasileira*, 28(2), 303-308.

Aldous, E. (2013). Challenges associated with green cities of the future. *Acta Hort. (ISHS)*, (999), 27-36.

Costa, P., Didone, E., Sesso, T., Cañizares, K., Goto, R. (2001). Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. *Sci. Agric.*, 58(3), 595-597.

Detomini, E., Massignan, L., Libardi, P., Neto, D. (2009). Consumo hídrico e coeficiente de cultura para o híbrido DKB 390. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(3), 445-452.

Dubbeling, M., Campbell, M., Hoekstra, F., Veenhuizen, V. (2009). Construyendo ciudades resilientes. *Revista Agricultura Urbana*, (22), 3-11.

FAO(2012). La agricultura urbana y su contribución a la seguridad alimentaria. Sistematización del proyecto piloto AUP en Honduras. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 32 pp. En: <http://www.fao.org> [Accesado el 29 de octubre de 2013]

Gooudrian, J. y Keulen, H. (1978). The direct and indirect effects of nitrogen shortage on photosynthesis and transpiration in maize and sunflower. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 27(1), 227-234.

Infantino, M. (2005). Gardening: a strategy for health promotion in older women. *The Journal of the New York State Nurses' Association*, 35(2), 10-17.

Largo-Wight, E. (2011). Cultivating healthy places and communities: Evidenced based nature contact recommendations. *International Journal of Environmental Health Research*, 21(1), 41-61.

Maas, J., Verheij, R., Groenewegen, P., Vries, S., Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: How strong is the relation? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 60(7), 587-592.

Martinez, H. y Clemente, M. (2011) O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Brasil: Universidade Federal de Viçosa.

Milligan, C., Gatrell, A., Bingley, A. (2004). Cultivating health: therapeutic landscapes and older people in northern England. *Social Science & Medicine*, 58(9), 1781-1793.

Mosquera, J. (2009). *Efectos socioeconómicos y ambientales de la agricultura urbana caso: unidades de planeamiento zonal (UPZS) de rincón y tibabuyes integradas, localidad de Suba*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental.

Moreno, O. (2007). Agricultura Urbana: nuevas estrategias de integración social y recuperación ambiental en la ciudad. *Revista Diseño Urbano y Paisaje* 4(11), 1-14.

Novais, F. et al. (1991). Ensaio em ambiente controlado in: Oliveira, A., Garrido, E., Araújo, J., Lourenço, S. (eds). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, Brasil: EMBRAPA.

Prince, P. y Koontz, V. (1984). Lettuce production from a system approach. In: International Congress on Soils Culture, 6. Proceedings... Luterén: ISOCSC, 533-545.

Rimache, M. (2009). Biohuertos: agricultura ecológica. España: Starbook.

Silva, D., Silva, M., Silva, R., Mapeli, A., Khouri, A., Lisboa, S., et al. (2006). Produção de mini-alface em cultivo hidropônico. *Unimontes Científica*, 8(1), 75-86.

Statistical Analysis System (SAS) Institute. (2004). *SAS user's guide*. Statistics. Version 9.1.

Torres, P. (2000). *Procesos metropolitanos y agricultura urbana*. México: Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

Van Den Berg, A., Winsum-Westra, M., Vries, S., van Dillen, S. (2010). Allotment gardening and health: a comparative survey among allotment gardeners and their neighbors without an allotment. *Environmental Health*, 9(74), 1-12.

Villarreal, J. (2008) Breves de la crisis alimentaria en México: causas, efectos, retos. HEINRICH BOLL STIFTUNG. <http://www.boelllatinoamerica.org/web/120.html>. (Consultado el 11 de noviembre 2011).

Consejo Arbitral

Dr. En C. Ernesto Bravo Benitez Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM	Dr. Roberto Arpi Mayta Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú
Dra. Martha Marivel Mendoza Ontiveros Universidad Autónoma del Estado de México	Dr. Edmar Salinas Callejas UAM-Azcapotzalco
Dra. Martha Jiménez García Instituto Politécnico Nacional	Dr. Samuel Rebollar Rebollar Universidad Autónoma del Estado de México
PhD Raquel Salazar Moreno Universidad Autónoma Chapingo	PhD Irineo López Cruz Universidad Autónoma Chapingo
Dra. Gabriela Rodríguez Licea Universidad Autónoma del Estado de México	Dr. Abraham Rojano Aguilar Universidad Autónoma Chapingo
PhD Miguel Ángel Martínez Damián Colegio de Postgraduados	Dra. Laura Elena Garza Bueno Colegio de Postgraduados
Dra. Ma. Teresa Pérez Soto Universidad Autónoma de Morelos	Dr. J. Martín González Elías Universidad Autónoma de Guanajuato
Dr. Jorge Cortés Carreño Universidad Autónoma Chapingo	PhD Pablo Emilio Escamilla García Universidad Autónoma Chapingo
	Dr. Daniel Sepúlveda Jiménez Universidad Autónoma Chapingo

La Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIA A.C.)
Agradece al Artista plástico Felipe Camacho García (Otumba, estado de México 1963)
La aportación de obras de su autoría para ilustrar este libro;
e-mail: camachof412@gmail.com

Sistemas de Producción y Cultivos Agrícolas en México
se publicó en enero del 2019.

Para su composición se emplearon las fuentes

Times New Roman de 9 y 12 pts y

Trebuchet MS de 8 y 18 pts.

Diseño editorial: linkverde2004@yahoo.com.mx

El cuidado de la edición estuvo a cargo
de Francisco Pérez Soto