



Revista Mexicana de Agroecosistemas; Vol. IV, Núm. 2 (Suplemento 2); 2017,
30 de Noviembre y 1 de Diciembre; ISSN: 2007-9559

Revista Mexicana de Agroecosistemas



Oaxaca, Volumen IV, Número 2, 2017-Suplemento 2

Fotos: Cultivo de Agave y planta de Agave tobala.



*Revista Mexicana de Agroecosistemas; Vol. IV, Núm. 2 (Suplemento 2); 2017,
30 de Noviembre y 1 de Diciembre; ISSN: 2007-9559*

Revista Mexicana de Agroecosistemas

REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol. 4, Núm. 2 Julio-Diciembre 2017, es una publicación de la Secretaría de Educación Pública-Tecnológico Nacional de México, editada a través del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por la División de Estudios de Posgrado e Investigación. Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 56230, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-060211581800-203 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsables de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez y Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 56230, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, www.itvalleoaxaca.edu.mx, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 20 de diciembre de 2017.

Su objetivo principal es difundir los resultados de investigación científica de las áreas agropecuaria, forestal, recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas, ambientales y socioeconómicas.

Para su publicación, los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución; las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.



Comité Editorial (DEPI-ITVO)

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle
Dr. Salvador Lozano Trejo
Dr. Vicente A. Velasco Velasco
Dr. Yuri Villegas Aparicio
Dra. Gisela M. Santiago Martínez
Dra. Gisela V. Campos Ángeles
Dra. Martha P. Jerez Salas
M.C. Gustavo O. Díaz Zorrilla
M.C. Judith Ruíz Luna
M.C. María Isabel Pérez León

Coordinación editorial

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez

Diseño de portada

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez



Comité de Arbitraje en este número

Dr. Daniel Rodríguez Mercado (Instituto Tecnológico de Roque)
Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco (DEPI-ITVO)
Dr. Isidro Morales García (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dr. Carlos Inocencio Cortés Martínez (Investigador independiente)
Dr. Teodulfo Aquino Bolaños (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dr. Felipe de Jesús Palma Cruz (DEPI-ITO)
Dr. Cirenio Escamirosa Tinoco (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dra. Patricia Araceli Santiago García (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dra. Juana Yolanda López Cruz (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dra. Elia María del Carmen Méndez García (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dr. Pedro Maldonado Cruz (DEPI-ITO)
Mtro. Alberto Sánchez López
Dr. Marcos Pedro Ramírez López (DEPI-ITO)
M. en A. Dora Lilia Guzmán Cruz (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dra. María Eufemia Pérez Flores (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dr. Juan Regino Maldonado (CIIDIR-IPN-OAXACA)
M. en C. Nelly Arellanes Juárez (CIIDIR-IPN-OAXACA)
Dr. Pedro Benito Bautista (CIIDIR-IPN-OAXACA)



Prólogo

La “Revista Mexicana de Agroecosistemas” (RMAE) surgió de una propuesta del Consejo del Posgrado del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Su objetivo es difundir los resultados generados del esfuerzo de alumnos e investigadores del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas que se imparte en este Instituto, y de las Licenciaturas en Biología e Ingeniería en Agronomía y Forestal. Esta revista científica (RMAE) contempla las áreas agrícola, pecuaria, forestal y recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas ambientales y socioeconómicas.

Por ello, se hace la invitación a alumnos, académicos e investigadores para que utilicen este espacio para publicar sus resultados de investigación relacionados con estas áreas. Los manuscritos se pueden enviar de acuerdo con las normas publicadas en <http://www.itvalleoxaca.edu.mx/posgradoitvo/RevistaPosgrado/inicio/inicio/normas-rmae.html> y pueden ser de tres tipos: artículo científico, nota técnica y ensayo libre (artículos de revisión). Todos los manuscritos se someterán a arbitraje y a edición. Deberán ser originales e inéditos, de alta calidad, acordes con las normas indicadas en este volumen y que no se hayan publicado o se vayan a publicar en otra revista.

Este suplemento 2 está dedicado al 1er Congreso Nacional de Agave-Mezcal Oaxaca 2017, llevado a cabo en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Se presenta una selección de trabajos presentados en el Congreso, editados como artículos de investigación y de revisión. Los temas abarcan desde aspectos biológicos, ecológicos, agrícolas, socioeconómicos y económico-administrativos para el aprovechamiento integral de esta especie nativa de Oaxaca, dentro de la cadena Agave-Mezcal y para la innovación en otros productos derivados del Agave.

ATENTAMENTE

Comité editorial



Contenido	Pág.
Artículos de investigación	
EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE N Y P EN EL CRECIMIENTO DE <i>Agave potatorum</i> Zucc / EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF N AND P IN THE <i>Agave potatorum</i> Zucc GROWTH	
Gabriel Bautista Aparicio, Saúl Sánchez Mendoza, Martha Angélica Bautista-Cruz	01-07
TAMAÑO DE SEMILLA Y TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN EL CRECIMIENTO DE AGAVES SILVESTRES / SEED SIZE AND PRE-GERMINATION TREATMENTS ON WILD AGAVES GROWTH	
Saúl Sánchez Mendoza, Martha Angélica Bautista-Cruz, Omar Córdova Campos, Miguel Crisanto Martínez, Francisco Alavés Jarquín.....	08-17
CRECIMIENTO DE <i>Agave potatorum</i> Zucc. CULTIVADO EN AMBIENTES CONTRASTANTES Y FERTIRRIGACIÓN / GROWTH OF <i>Agave potatorum</i> Zucc. CULTIVATED IN CONTRASTING ENVIRONMENTS AND FERTIGATION	
Isidro Morales, Gabino Alberto Martínez Gutiérrez, Carlos I. Cortés-Martínez, Cirenio Escamirosa Tinoco, Martin Hernández Tolentino, Teodulfo Aquino-Bolaños.....	18-27
SUSTRATOS Y TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE AGAVES SILVESTRES / SUBSTRATES AND PRE-GERMINATION TREATMENTS ON WILD AGAVES INITIAL GROWTH	
Saúl Sánchez Mendoza, Martha Angélica Bautista-Cruz, Omar Córdova Campos	28-36
NUEVOS REPORTES DE HONGOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES EN <i>Agave potatorum</i>, EN LA MIXTECA OAXAQUEÑA / NEW REPORTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN <i>Agave potatorum</i>, IN THE OAXACAN MIXTECA	
José Luis Hernández-Morales, Claudia López-Sánchez, Celerino Robles-Pérez, Felipe de Jesús Palma-Cruz.....	37-47
EFFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y PROCEDENCIA DE SEMILLAS DE <i>Agave potatorum</i> Zucc. EN LA GERMINACIÓN Y VIABILIDAD / EFFECT OF THE STORAGE TIME AND ORIGIN OF <i>Agave potatorum</i> Zucc. SEEDS IN GERMINATION AND VIABILITY	
Lucia Armin Langlé Argüello, German Fernando Gutiérrez-Hernández, Gabino Alberto Martínez-Gutiérrez.....	48-60
COLECTA E ÍNDICES DE PATOGENICIDAD DE NEMATODOS Y HONGOS ENTOMOPATÓGENOS NATIVOS EN EL PICUDO DE AGAVE (<i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal) EN OAXACA, MÉXICO / COLLECTION AND PATHOGENICITY INDEXES OF NEMATODES AND FUNGI NATIVE ENTOMOPATOGENS IN THE AGAVE WEEVIL (<i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal) IN OAXACA, MÉXICO	
Teodulfo Aquino Bolaños, Gualdemar Reyes Cortés, Mariana Valdez Ham, David Martínez Sánchez, Verónica Gallegos Martínez	61-67



¿FUNCIONA EL TRAMPEO MASIVO PARA LA REDUCCIÓN DE POBLACIONES DE <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal EN MAGUEY ESPADÍN? / IS MASS TRAPPING STRATEGY AN OPTION FOR DECREASING POPULATION DENSITIES OF <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal IN ESPADÍN MAGUEY? Pedro Figueroa-Castro, Julio C. Rojas, Víctor López-Martínez, Héctor González-Hernández, Martín Pérez-Figueroa.....	68-76
IMPORTANCIA DE LOS DOBA O MAGUEYES EN LA ETNIA ZAPOTECA DEL DISTRITO DE OCOTLÁN, OAXACA / IMPORTANCE OF DOBA OR MAGUEYES IN THE ZAPOTEC ETHNIC GROUP OF OCOTLÁN DISTRICT, OAXACA Patricia Vásquez Luis, Felipe de Jesús Palma Cruz, Claudia López Sánchez.....	77-85
VARIABILIDAD GENÉTICA DE <i>Agave durangensis</i> Y <i>Agave salmiana</i> ASOCIADA A SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN DIFERENTES POBLACIONES DEL ESTADO DE DURANGO / GENETIC VARIABILITY OF <i>Agave durangensis</i> AND <i>Agave salmiana</i> ASSOCIATED TO ITS ANTIOXIDANT ACTIVITY IN DIFFERENT POPULATIONS OF THE STATE OF DURANGO Karla Araceli Silva Ramírez, Rene Torres Ricario, José Roberto Medina Medrano.....	86-98
EFFECTO DE LOS FRUCTANOS DE AGAVE SOBRE PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS Y METABÓLICOS EN RATONES DIABÉTICOS / EFFECT OF AGAVE FRUCTANS ON HEMATOLOGIC AND BIOCHEMICAL PARAMETERS IN DIABETIC MICE María José Hernández Granados, Joel Ramírez Emiliano, José Mario Mendoza Carrillo, Alicia del Rosario Martínez Yáñez, Elena Franco Robles	99-109
METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL POTENCIAL AGROECOTURÍSTICO: CASO DEL MAGUEY Y EL MEZCAL, EN SANTIAGO MATATLÁN / METHODOLOGY TO EVALUATE THE POTENTIAL AGRO-ECOTOURISM: CASE OF MAGUEY AND MEZCAL IN SANTIAGO MATATLÁN Héctor Santiago-Romero, Roberto López-Pozos, José Luis Arcos-García.....	110-122
Artículos de revisión	
MANEJO INTEGRADO Y SOSTENIBLE DEL AGROECOSISTEMA MAGUEY PARA EL CONTROL DE <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyll. / INTEGRATED AND SUSTAINABLE AGAVE-AGROECOSYSTEM MANAGEMENT FOR CONTROL OF <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyll. Jaime Ruiz Vega, Teodulfo Aquino Bolaños, Juan R. Delgado Gamboa, Carlos I. Cortés-Martínez.....	123-132
DESEMPEÑO DE PEQUEÑOS PRODUCTORES EN LA CADENA DE VALOR DEL MEZCAL EN TRES COMUNIDADES DE OAXACA / SMALL PRODUCERS PERFORMANCE ON VALUE CHAIN OF MEZCAL IN THREE COMMUNITIES IN OAXACA Arcelia Toledo López, Dora Lilia Guzmán Cruz, Rosa María Velázquez Sánchez.....	133-144



*Revista Mexicana de Agroecosistemas; Vol. IV, Núm. 2 (Suplemento 2); 2017,
30 de Noviembre y 1 de Diciembre; ISSN: 2007-9559*

DIRECTORIO

Mtro. Manuel Quintero Quintero- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Salvador González Vázquez- Director de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

M.C. Oscar A. Silva Sánchez- Director (ITVO)

Ing. Vicente Castillo Benítez- Subdirección Académica (ITVO)

Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles- Encargada (DEPI-ITVO)

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71230

Tel. y Fax: 01(951) 5170444, 5170788

Correo: rmae.itvo@gmail.com

<http://www.itvalleoxaca.edu.mx/posgradoitvo/RevistaPosgrado/>





EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE N Y P EN EL CRECIMIENTO DE *Agave potatorum* Zucc

[EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF N AND P IN THE *Agave potatorum* Zucc GROWTH]

Gabriel Bautista Aparicio^{§1}, Saúl Sánchez Mendoza¹, Martha Angélica Bautista-Cruz²

¹NovaUniversitas. Carretera a Puerto Ángel Km. 34.5, Ocotlán de Morelos, Oaxaca. México C.P. 71513. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-OAXACA). Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230, Oaxaca, México. Teléfono: (951) 5170610. (ssmoax@hotmail.com, mbautistac@ipn.mx). [§]Autor para correspondencia: (gabrielbautistaa@outlook.com).

RESUMEN

Se determinó el efecto de la aplicación de diferentes dosis de N (0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹) y P (0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹) sobre el crecimiento de *A. potatorum* durante siete meses bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron 16 tratamientos bajo un diseño bifactorial con arreglo completamente al azar. Se evaluaron altura de planta (AP) y número de hojas desplegadas (NH), los datos se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$). Respecto al testigo, con 150 kg·ha⁻¹ de N se obtuvieron incrementos porcentuales de 29.1% y 20.6% para AP y NH respectivamente, con 30 kg ha⁻¹ de P la AP incrementó 17%. Se obtuvo un buen sinergismo para la interacción N*P en donde no existió diferencia estadística entre tratamientos fertilizados pero si con respecto al testigo, 100 kg ha⁻¹ de N y 30 kg ha⁻¹ de P incrementaron 136% la AP, con 150 kg ha⁻¹ de N y 0 kg ha⁻¹ de P el NH se incrementó en 66.6%. La aplicación simultanea de N y P promueven el crecimiento vegetal en los primeros siete meses de edad en *Agave potatorum* Zucc.

Palabras clave: especies silvestres, nutrición vegetal, producción.

ABSTRACT

The effect of the application of different doses of N (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹) and P (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹) on the growth of *A. potatorum* during seven months was determined under greenhouse conditions. Sixteen treatments were evaluated under a bifactorial design with a completely randomized arrangement. Plant height (AP) and number of leaves deployed (NH) were evaluated, the data were subjected to analysis of variance and Tukey tests ($\alpha = 0.05$). Regarding the control, with 150 kg ha⁻¹ of N, percentage increases of 29.1% and 20.6% were obtained for AP and NH respectively; with 30 kg ha⁻¹ of P the AP increased 17%. A good synergism has been found for the interaction N * P where there is no statistical difference between fertilized treatments but if with respect to the control, 100 kg ha⁻¹ N and 30 kg ha⁻¹ P performance 136% PA, with 150 kg ha⁻¹ of N and 0 kg ha⁻¹ of P NH increased by 66.6%. The simultaneous application of N and P promotes plant growth in the first seven months of age in *Agave potatorum* Zucc.



Index words: wild species, plant nutrition, production.

INTRODUCCIÓN

Agave potatorum es una especie silvestre importante para el estado de Oaxaca por la producción de mezcal, el cual tiene una alta demanda regional, se distingue por su alta (excelente) calidad debido a la producción de compuestos aromáticos volátiles que contiene (Vera *et al.*, 2009), se cotiza hasta tres veces más que el precio del mezcal que se obtiene de otras especies (Sánchez, 2005). En el estado de Oaxaca *A. potatorum* ocupa una franja territorial que se extiende de noroeste a sureste, en los distritos de Huajuapán, Coixtlahuaca, Cuicatlán, Etla, Centro, Ixtlán, Ocotlán, Miahuatlán, Mixe, Tlacolula, Sola de Vega, Zaachila y Zimatlán (Chagoya, 2004). Sánchez (2005), refiere que también existe en Nochixtlán, Teposcolula y Tlaxiaco. Durante los últimos años, los productores recolectan los tallos o “piñas” de poblaciones silvestres antes que las plantas puedan emitir flores y semillas, esta práctica afecta a ésta especie puesto que no se tiene registro de que presente algún tipo de reproducción asexual; esta situación ha generado una considerable disminución de las poblaciones silvestres; así como la extracción irracional de estas especies (Sheinvar, 2008), debido a esto, surge la necesidad de generar conocimientos acerca de su manejo. Para el buen desarrollo de las plantas es necesario el aporte de nutrimentos, tales como el N, P, K, S, Ca y Mg y los micronutrimentos Cu, Mn, Zn, Cl, B y Ni. Cuando un suelo no proporciona alguno de estos nutrimentos en la cantidad suficiente requerida por las plantas, es necesario incorporarlo a través de un fertilizante que contenga dicho nutrimento. Dentro de los nutrimentos esenciales, el N está asociado con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde (Alcantar, 2012) además de ser un constituyente estructural de las paredes celulares, forma parte de proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos.

El fósforo es el segundo elemento más importante en la planta de acuerdo a la cantidad requerida, es constituyente de enzimas, proteínas y es componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos, por lo tanto juega un papel importante en la vida de las plantas e importante también en el crecimiento reproductivo, la división celular, síntesis de azúcar y grasas, además incrementa la resistencia a enfermedades. La deficiencia de N y P en plantas, se manifiesta con un crecimiento, desarrollo y producción deficientes (Martínez *et al.*, 2013). El manejo del suelo y la fertilización están dirigidos a modificar el régimen nutrimental de las plantas y a mejorar la capacidad del suelo para el abastecimiento de los nutrimentos. Con la fertilización se busca incrementar la respuesta del cultivo manteniendo un nivel óptimo (Garate y Bonilla, 2001) para obtener un mejor rendimiento por lo que es importante considerar el uso eficiente del suelo, el agua y los nutrimentos (Cadahía, 2005). Debido a las adaptaciones fisiológicas y anatómicas de esta especie, las plantas pueden proliferar en zonas con escasa precipitación y suelos de baja fertilidad (Castro, 2007); sin embargo, investigaciones realizadas en maguey sobre aspectos de fertilización han demostrado que responde de manera positiva, variable como altura de planta, número de hojas desplegadas, diámetro de tallo y acumulación de biomasa son las que mejor respuesta han presentado (Martínez-Ramírez *et al.*, 2013). El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de la aplicación diferentes dosis de N (0, 50, 100 y 150



kg·ha⁻¹) y P (0, 30, 60 y 90 kg·ha⁻¹) sobre el crecimiento de *A. potatorum* durante siete meses bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Siembra de semillas

El estudio se realizó en Ocotlán de Morelos (16°48'N, 96°40'O, a 1523 msnm), estado de Oaxaca, México, con una temperatura media de 20.5 °C y una precipitación de 695 mm. Se utilizaron semillas de *A. potatorum*, donadas por productores de agave de Santa Catarina Minas, Ocotlán, Oaxaca, México (16°77' N, 96°61' O). La siembra se realizó en charolas de germinación de 200 cavidades, utilizando Cosmopeat como sustrato. Una vez germinadas las semillas, las plántulas crecieron bajo condiciones semicontroladas durante 45 días.

Trasplante y Fertilización

Después de la aparición de la primera hoja verdadera, las plántulas fueron trasplantadas en suelo nativo de la zona donde crece de forma silvestre *A. potatorum*, se utilizaron bolsas de polietileno con capacidad de 2 kg. Posteriormente se realizó la fertilización de cuatro dosis de N (0, 50, 100, 150 kg·ha⁻¹) y cuatro de P (0, 30, 60 y 90 kg·ha⁻¹); se efectuaron riegos semanales. Como fuentes de nutrimentos se utilizaron sulfato de amonio (20.5% N) y superfosfato de calcio triple (46% P), se efectuaron dos aplicaciones, la primera dos semanas después del trasplante y la segunda a los seis meses. El tiempo total para la evaluación fue de siete meses a partir del trasplante.

Análisis de Suelo

Se realizó un análisis de suelo con base en los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2001). Se determinó el pH (5.5), Materia Orgánica (3.71), Textura (Arcillosa), conductividad eléctrica (1.46 dS m⁻¹), y densidad aparente (1.4 g cm³).

Variables respuesta

Las variables evaluadas mensualmente durante el experimento fueron: El número de hojas desplegadas (NH): se contabilizó el número total de hojas que hayan sido desplegadas a partir del cono central y que estuvieran completamente desenvueltas, mostrando sus espinas laterales en ambos lados; altura de la planta (AP): se midió con una regla de 30 cm, tomando como base la intersección de la hoja con el tallo por la parte inferior de la penca más larga hasta la espina terminal.

Diseño Experimental

Los tratamientos se establecieron utilizando un diseño bifactorial completamente al azar con 8 repeticiones. En total se evaluaron 16 tratamientos, con un total de 128 unidades experimentales.



Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p < 0.05$), con el programa SAS versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de diferentes dosis de nitrógeno en el crecimiento de *A. potatorum*

En la primera medición, respecto al control, con 150 kg ha^{-1} de N, la AP se incrementó 51.28%. La dosis de 100 kg ha^{-1} de N promovió incrementos en AP a partir del tercer mes de evaluación, en el séptimo mes, respecto del control se obtuvo un incremento de 28.9%. El NH se vio favorecido por la aplicación de N, respecto al control se presentaron incrementos con 100 kg de N en la quinta (20.47%) y sexta medición (10.83%), después de siete meses la dosis de 150 kg de N incremento en 20.61% el NH. Los resultados obtenidos en este experimento, difieren a lo reportado por Martínez-Ramírez *et al.*, (2013), quienes no encontraron diferencias significativas en las variables AP y NH en *Agave potatorum* al evaluar dosis de 50, 100 y 150 kg ha^{-1} de N. Resultados similares fueron obtenidos en *Agave lechuguilla*, en donde a una dosis de 100 kg ha^{-1} de N se estimuló un incremento en NH, más no así para AP (Nobel *et al.*, 1988).

Efecto de diferentes dosis de fósforo en el crecimiento de *A. potatorum*

Para la fuente P, mostró diferencias significativas para AP con 30 kg ha^{-1} de P, en la séptima medición con un incremento porcentual de 19.83%, respecto al control (Cuadro 1). Para NH con 30 kg ha^{-1} de P se presentaron incrementos de 14.34 y 11.27% en la cuarta y sexta medición, respectivamente.

Cuadro 1. Incremento en número de hojas desplegadas (NH) y altura de planta (AP) en *Agave potatorum* Zucc, como respuesta a la aplicación de diferentes dosis de N y P.

Tratamientos	MM1		MM2		MM3		MM4		MM5		MM6		MM7	
	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH
cm														
kg·ha ⁻¹ de N														
0	1.17b	1.56a	2.20a	2.65a	2.74b	3.65a	3.43b	4.37a	4.01b	5.03b	4.47b	6.00b	4.81b	6.84b
50	1.20b	1.62a	2.60a	2.96a	3.00ab	3.81a	3.83ab	4.65a	4.64ab	5.46ab	5.02ab	6.09ab	5.49ab	7.81ab
100	1.49ab	1.71a	2.67a	3.00a	3.46a	3.81a	4.30a	4.87a	5.05a	5.87a	5.40a	6.53ab	6.20a	8.18a
150	1.77a	1.53a	2.79a	2.81a	3.44a	3.75a	4.18ab	4.90a	4.78b	6.06a	5.12ab	6.65a	5.70a	8.25a
p	0.0007	0.603	0.090	0.158	0.015	0.844	0.018	0.096	0.009	0.003	0.029	0.022	0.0009	0.002
kg·ha ⁻¹ de P														
0	1.35a	1.59a	2.58a	2.81a	3.03a	3.68a	3.58a	4.53b	4.16a	5.31a	4.50a	6.03b	4.94b	7.53a
30	1.59a	1.81a	2.73a	3.09a	3.33a	3.96a	4.23a	5.18a	4.95a	6.06a	5.32a	6.71a	5.92a	7.96a
60	1.44a	1.53a	2.38a	2.68a	3.07a	3.78a	3.78a	4.50b	4.62a	5.34a	5.05ab	6.31ab	5.56ab	7.46a
90	1.25a	1.50a	2.57a	2.84a	3.20a	3.59a	4.15a	4.59ab	4.76a	5.71a	5.14ab	6.21ab	5.78ab	8.12a
p	0.214	0.151	0.546	0.112	0.645	0.282	0.094	0.012	0.082	0.040	0.065	0.048	0.022	0.277
C.V.	45.52	36.9	37.33	23.59	33.01	21.24	30.05	20.06	27.17	21.1	25.18	15.79	24.07	0.124

AP, altura de planta; NH, número de hojas desplegadas; MM, medición mensual; C.V., coeficiente de variación (%); p, significancia de F. Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

Nobel *et al.* (1988) encontraron que en *A. lechuguilla* con 500 kg ha^{-1} de P se incrementa el NH, por su parte Bautista-Sánchez (2009), encontró un incremento en AP y NH en *A. potatorum* con



20 kg ha⁻¹ de P, comparado con 40 y 60 kg ha⁻¹ de P, para DT la mejor respuesta la obtuvo con 40 kg ha⁻¹ de P. Estos resultados coinciden con lo encontrado en este experimento donde la dosis más baja generó los mejores resultados en el crecimiento de *A. potatorum*.

Efecto de la interacción de diferentes dosis de N y P en el crecimiento de *A. potatorum*

En la interacción N*P comparado con el control (0 kg·ha⁻¹ de N y 0 kg·ha⁻¹ de P), la dosis de 150 y 0 kg·ha⁻¹ de P, incremento la AP en 280.64, 145.22, 154.85 y 160.51% para la primera, segunda, tercera y cuarta medición, respectivamente; con la misma interacción el NH incremento 66.66% en la séptima medición. Con 150 kg·ha⁻¹ de N y 30 kg·ha⁻¹ de P, la NH incremento 68.5, 67.71, 80.87 y 52.63% para la segunda, cuarta, quinta y sexta medición. Para la AP con 100 kg·ha⁻¹ de N y 60 kg·ha⁻¹ de P incremento 154.18 y 141.10% en la quinta y sexta medición. Con 100 kg·ha⁻¹ de N y 30 kg·ha⁻¹ de P, la AP incremento 136.82 % en la séptima medición (Cuadro 2). De acuerdo al aporte relativo de la suma de cuadrados, existe un buen sinergismo para el factor nitrógeno y fósforo (Cuadro 3).

Cuadro 2. Incremento en número de hojas desplegadas y altura de planta en *A. potatorum*, como respuesta a la interacción de diferentes dosis de N y P.

Tratamientos	MM1		MM2		MM3		MM4		MM5		MM6		MM7	
	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH
	cm													
0* + 0**	0.62c	1.12a	1.57b	2.00b	1.75c	3.00a	1.95b	3.50b	2.27b	3.87b	2.53b	4.75b	2.77b	5.25b
0+30	1.50abc	1.75a	2.41ab	3.00ab	2.90abc	3.75a	3.91b	4.75ab	4.66a	5.25ab	5.13a	6.37ab	5.55a	7.50ab
0+60	1.26abc	1.75a	2.41ab	2.62ab	3.30abc	4.12a	3.67ab	4.50ab	4.25ab	5.37ab	4.92a	6.75a	5.27a	7.12ab
0+90	1.30abc	1.62a	2.43ab	3.00ab	3.01abc	3.75a	4.20a	4.75ab	4.86a	5.62ab	5.28a	6.12ab	5.65a	7.50ab
50+0	1.22abc	2.00a	2.68ab	3.25a	3.00abc	4.25a	3.71ab	4.75ab	4.30ab	5.62ab	4.65ab	6.12ab	5.28a	8.25a
50+30	1.31abc	1.62a	2.81ab	2.75ab	3.25abc	3.50a	4.25a	4.75ab	4.88a	5.62ab	5.28a	6.37ab	5.91a	7.25ab
50+60	1.12bc	1.37a	2.15b	2.87ab	2.45bc	3.62a	3.23ab	4.50ab	4.42ab	5.12ab	4.85a	5.87ab	5.00ab	7.37ab
50+90	1.17bc	1.50a	2.75ab	3.00ab	3.30abc	3.87a	4.13a	4.62ab	4.96a	5.50ab	5.31a	6.00ab	5.78a	8.37a
100+0	1.22abc	1.50a	2.21ab	3.12ab	2.92abc	3.87a	3.57ab	4.75ab	4.35ab	5.37ab	4.78a	6.12ab	5.35a	7.87ab
100+30	1.67abc	1.75a	2.73ab	3.25a	3.57abc	4.25a	4.55a	5.37a	5.46a	6.37a	5.78a	6.87a	6.56a	8.50a
100+60	1.72abc	1.87a	2.93ab	2.87ab	3.78ab	3.75a	4.76a	4.62ab	5.77a	5.87ab	6.10a	6.75a	6.50a	7.87ab
100+90	1.35abc	1.75a	2.82ab	2.75ab	3.56abc	3.37a	4.33a	4.75ab	4.65a	5.87ab	4.96a	6.37ab	6.38a	8.50a
150+0	2.36a	1.75a	3.85a	2.87ab	4.46a	3.62a	5.08a	5.12ab	5.73a	6.37a	6.06a	7.12a	6.37a	8.75a
150+30	1.87ab	2.12a	2.98ab	3.37a	3.62ab	4.37a	4.23a	5.87a	4.80a	7.00a	5.07a	7.25a	5.66a	8.62a
150+60	1.65abc	1.12a	2.05b	2.37ab	2.75abc	3.62a	3.46ab	4.37ab	4.01ab	5.00ab	4.33ab	5.87ab	5.47a	7.50ab
150+90	1.21bc	1.12a	2.27ab	2.62ab	2.92abc	3.37a	3.93ab	4.25ab	4.58a	5.87ab	5.02a	6.37ab	5.31a	8.12a
CV (%)	45.52	36.9	37.33	23.59	33.01	21.24	30.05	20.06	27.17	21.1	25.18	15.79	24.07	20.59

AP, altura de planta; NH, número de hojas desplegadas; MM, medición mensual; C.V., coeficiente de variación; p, significancia de F. Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).



Cuadro 3. Contribución relativa (%) de las fuentes de variación de los tratamientos para la variable altura de planta (AP) y Número de Hojas Desplegadas (NH) en *Agave potatorum* Zucc, con respecto a la suma de cuadrados del modelo.

Fuentes de Variación	MM1		MM2		MM3		MM4		MM5		MM6		MM7	
	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH	AP	NH
N	41.9	5.9	19.8	16.6	26.7	3.2	23.7	18.7	24.1	49.6	18.6	23.6	33.8	46.3
P	10.4	17.4	6.3	19.2	4.1	15.3	14.8	32.8	13.8	29.7	14.8	19.1	18.9	11.5
N x P	47.8	76.7	73.9	64.2	69.3	81.5	61.5	48.5	62.1	20.7	66.6	57.3	47.3	42.2
Suma	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

AP, altura de planta; NH, número de hojas desplegadas; MM1, MM2, MM3, MM4, MM5, MM6, MM7 son: mes uno, mes dos, mes tres, mes cuatro, mes cinco, mes seis y mes siete, respectivamente.

A partir del análisis de la interacción N*P se demuestra el potencial que puede tener la aplicación de N y P en el crecimiento de *A. potatorum*, podemos inferir que dosis altas de N y bajas de P promueven AP. Martínez *et al.*, (2013), no encontraron diferencias significativas para AP al evaluar dosis de fertilización altas (90-60-45), medias (60-40-30) y bajas (30-20-15) en *A. potatorum* y *A. agustifolia*. En *A. tequilana* el rendimiento de la piña (tallo sin hojas) se duplico con respecto al testigo cuando las plantas se fertilizaron con 120N-80P-60K, pero la aplicación de 120N-120P-60K generó rendimientos menores (Valenzuela, 1995). La buena respuesta obtenido para AP puede atribuirse a que el P, es un componente clave de ácidos nucleicos, fosfolípidos y ATP (Shachtman, 1988), por otra parte, la deficiencia de N disminuye el metabolismo CAM, la fijación nocturna de CO₂, la síntesis de clorofila (Franco *et al*, 1991), desarrollo el área, del sistema radical y en general del crecimiento de la planta (Uvalle *et al*, 2007).

CONCLUSIONES

La aplicación de dosis altas de N; 100 y 150 kg·ha⁻¹ de P promueven incrementos en AP y NH, no así para P donde no se obtuvo respuesta positiva durante en la mayoría de las evaluaciones, y cuando se mostró algún efecto significativo, este fue con la dosis más baja: 30 kg·ha⁻¹ de P. Se observó un buen sinergismo para la interacción N*P en AP. La aplicación de N y P a través de fertilizantes inorgánicos pueden ser una importante alternativa de para la producción de *A. potatorum* durante los siete primeros meses de crecimiento.

LITERATURA CITADA

- Alcantar, G. G. y T. L. I. Trejo. 2012. Nutrición de Cultivos. Colegio de Posgrados y Mundi-Prensa, México. 454 p.
- Bautista-Sánchez, G. 2009. Fertilización fosfatada y nitrogenada de *Agave potatorum* Zucc. Boletín técnico. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México. 22-25 p.
- Castro, B. C. 2007. Manual para la producción y paquete tecnológico para Agave. Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Puebla. Puebla, México. 01-13 p.



- Cadahía, L. C. 2005. Fertilización. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. México. 15-18 p.
- Chagoya, V. 2004. Diagnóstico de la Cadena Productiva del Sistema Producto Maguey-Mezcal. SAGARPA, SEDAF y Commac, Oaxaca México. 56-59 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación del 7 de diciembre de 2001.
- Franco, A. C., E. Ball and U. Lüttge. 1991. The influence of nitrogen, light and water stress on CO₂ exchange and organic acid accumulation in the tropical C3-CAM tree, *Clusia minor*. *Journal of Experimental Botany* 42(5): 597-603.
- Garate, A. y I. Bonilla. 2001. Nutrición mineral y producción vegetal. In: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.) *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España. pp. 113-130.
- Martínez-Ramírez, S., A. Trinidad-Santos, G. Bautista-Sánchez y E. C. Pedro-Santos. 2013. Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(4): 387-393.
- Sánchez, L. A. 2005. Oaxaca, Tierra de Maguey y Mezcal. 2ª. ed. Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca. México. pp. 235-312.
- Scheinvar, G. E. 2008. Genética de poblaciones silvestres y cultivadas de dos especies mezcaleras: *Agave cupreata* y *Agave potatorum*. Tesis de Maestría. UNAM. México. 109 p.
- Nobel, P. S., E. Quero and H. Linares. 1988. Differential growth responses of agaves to nitrogen, phosphorus, potassium, and boron applications. *Journal of Plant Nutrition* 11:1683-1700.
- Schachtman, P. D., J. R. Robert, and S. M. Ayling. 1988. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology* 116: 447-453.
- Uvalle, B. C. y G. Vélez. 2007. Nutrición del agave tequilero (*Agave tequilana* Weber var. Azul). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Libro Técnico Núm. 4. 69-88 p.
- Vera G. A. M., P. A. Santiago G. y M. G. López. 2009. Compuestos volátiles aromáticos generados durante la elaboración de mezcal de *Agave angustifolia* y *Agave potatorum*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:273-279.
- Valenzuela, Z. G. y D. R. González, 1995. Fertilización del agave tequilero (*Agave tequilana* Weber) en la región de Tequila, Jalisco, México. Ensayo de una metodología para analizar crecimiento en cultivos multianuales mediante una técnica no destructiva. *Terra* 13:81-95.



TAMAÑO DE SEMILLA Y TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN EL CRECIMIENTO DE AGAVES SILVESTRES

[SEED SIZE AND PRE-GERMINATION TREATMENTS ON WILD AGAVES GROWTH]

**Saúl Sánchez Mendoza^{1§}, Martha Angélica Bautista-Cruz², Omar Córdova Campos¹, Miguel Crisanto
Martínez¹, Francisco Alavés Jarquín¹**

¹NovaUniversitas. Carretera a Puerto Ángel Km. 34.5, Ocotlán de Morelos, Oaxaca. México. ²Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-OAXACA). Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230, Oaxaca. México. Teléfono: (951) 5170610. (mbautistac@ipn.mx, omarc_c@hotmail.com, falavezjarquín@live.com.mx, migueldereyes@gmail.com). [§]Autor para correspondencia: (ssmoax@hotmail.com).

RESUMEN

Especies silvestres del género *Agave* presentan diferencias en tamaño y forma de semillas, lo cual está relacionado con la emergencia y crecimiento de plántulas. Se evaluó el efecto de dos tamaños de semilla; grandes y pequeñas, así como tratamientos pregerminativos; remojo en agua, remojo en Byiozime®TF y un testigo, en la emergencia y crecimiento inicial de agaves silvestres: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), sierrudo (*Agave* spp.), coyote (*Agave* spp.) y cuishe (*Agave* spp.). Se realizaron experimentos por especie utilizando un diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 3×2. Se contabilizó el número de plantas emergidas (E), longitud de la hoja (LH), longitud de la raíz (LR) y diámetro de tallo (DT). Respecto al control, en cuishe y tobalá con remojo en agua la E incrementó 55.1 y 54.2% respectivamente, semillas grandes incrementaron la E en cuishe (30.6%), coyote (37.9%) y sierrudo (28.1%). Las semillas grandes incrementaron LH en sierrudo (14.7%), cuishe (24.4%) y coyote (20.8%), en sierrudo el DT incrementó 14.0% y LR 59.6%. En cuishe LR incrementó 24.4% con semillas pequeñas. Los tratamientos pregerminativos no promovieron crecimiento. La interacción tratamiento pregerminativo × tamaño de semilla fue positiva para E, DT y LR en cuishe.

Palabras clave: Maguey, mezcal, propagación.

ABSTRACT

The genus *Agave*'s wild species show differences in seed size and shape, which is related to the emergence and growth of seeds. The effect of two seed-sizes was evaluated; Large and small, as well as pregerminative treatments; Seeds soaked in water (6 h), seeds soaked in gibberellins (Byiozime®TF) and control, on the emergence and initial growth of four wild agaves: tobalá (*Agave potatorum*Zucc.), sierrudo (*Agave* Spp.), coyote (*Agave* spp.) y cuishe (*Agave* spp.). A completely randomized design was used in factorial design 3×2, obtaining 6 treatments with five replicates of 10 seeds for each species. Emerged plants (E), leaf length (LH), root length (LR) and stem diameter (DT) were counted. About control, water-soak treatment increased emerged plants



in cuishe and tobalá 55.1 and 54.2% respectively, large seeds increased E in cuishe (30.6%), coyote (37.9%) and sierrudo (28.1%). Large seeds increased LH in sierrudo (14.7%), cuishe (24.4%) and coyote (20.8%), DT increased 14% and LR 59.6% in sierrudo. LR increased 24.4% in cuishe with small seeds. TPs did not promote growth. $T_p \times T_s$ interaction was significant for sierrudo and cuishe in DT, LH in coyote and LR in cuishe.

Index words: Wild maguey, mescal, propagation.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente 74 especies del género agave han sido utilizadas para la alimentación humana, y como materia prima para la obtención de bebidas fermentadas como el mezcal (Ramírez-Tobías *et al.*, 2012). La propagación asexual por hijuelos jóvenes derivados de rizoma es la forma natural más común y exitosa de multiplicación de plantas silvestres de *Agave* spp., así como en plantaciones comerciales donde ésta práctica facilita el manejo agronómico (Portillo y Santacruz-Ruvalcaba, 2006), sin embargo, la propagación sexual incrementa la variabilidad genética, la cual se está perdiendo debido a la reproducción clonal comercial, al cambio climático y a reducciones en la distribución y número de poblaciones silvestres, la variabilidad genética también disminuye el ataque de plagas y enfermedades (Valenzuela-Zapata y Nabhan, 2003). Los frutos de agave producen miles de semillas, pero son escasas las que germinan y generan un individuo nuevo en el ambiente silvestre (García-Mendoza, 2007). Además, las plántulas que logran establecerse pocas veces prosperan por falta de condiciones adecuadas para su crecimiento, principalmente por escasa humedad en el suelo y por efectos de herbivoría o de enfermedades (Eguiarte *et al.*, 2000). Experimentalmente, se ha verificado que las semillas de algunos agaves carecen de latencia y pueden alcanzar una alta germinación (Freeman *et al.* 1977).

Debido a la diversidad de especies de agave, es importante generar información que permita conocer los niveles de germinación y emergencia de especies silvestres utilizadas para la elaboración de mezcal, de acuerdo con Baskin y Baskin (1971), estudios de laboratorio han demostrado que la estratificación es necesaria para romper la latencia en semillas y brotes de *Agave virginica*, temperaturas entre 0 y 10°C promueven hasta un 94% de germinación. Raven y Curtís (1975), mencionaron que las semillas de algunas especies del desierto germinan solamente cuando ha caído suficiente agua de lluvia para lixiviar los inhibidores químicos del episperma. Factores ambientales como temperatura, luminosidad y humedad (Ramírez-Tobías *et al.*, 2012; Ramírez -Tobías *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2016), tienen un efecto significativo en la germinación de algunas especies de agave tales como *A. angustifolia*, *A. tequilana*, *A. aspérrima*, *A. salmiana*, *A. americana* var. *Marginata* y *A. cupreata*. Además de los factores ambientales se ha encontrado que la germinación en algunas especies del género agave está regulada por factores intrínsecos como el tamaño de la semilla. Ramírez-Tobías *et al.* (2014) encontraron que en tres variantes de *A. salmiana* (“Blanco”, “chino” y “liso”) con diferente tamaño de semilla cada uno, se presentaron diferencias significativas en la emergencia de plántulas, sin embargo, una vez emergidas no hubo diferencias en el crecimiento vegetativo.



La información actual acerca de las semejanzas, diferencias físicas y fisiológicas de las semillas de especies silvestres de agaves, así como la información relacionada con la emergencia de plántulas es escasa (Peña-Valdivia *et al.*, 2006). El objetivo de este trabajo fue evaluar tratamientos pregerminativos y dos tamaños de semilla en la emergencia y crecimiento inicial de agave tobalá (*Agave potatorum* Zucc), sierrudo (*Agave* spp.), cuishe (*Agave* spp.) y coyote (*Agave* spp.), en condiciones semicontroladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en Ocotlán de Morelos (16°48'N, 96°40'O, a 1,523 msnm), estado de Oaxaca, México, con una temperatura media de 20.5 °C y una precipitación de 695 mm. Se colectaron semillas de cuatro especies de agaves silvestres: agave tobalá (*Agave potatorum* Zucc), sierrudo (*Agave* spp.), cuishe (*Agave* spp.) y coyote (*Agave* spp.) en el municipio de Santa Catarina Minas (16°47'N y 96° 38'O) a 1560 msnm, perteneciente al distrito de Ocotlán de Morelos. Se seleccionaron plantas sanas y con buen porte, se colectaron frutos en madurez fisiológica, vigorosos y libres de plagas y enfermedades, de cada fruto se seleccionaron semillas sanas las cuales se almacenaron a la sombra y al aire libre.

Medición y pesaje de semillas

Antes de la siembra se seleccionaron dos tamaños de semilla para cada una de las especies evaluadas: semillas grandes (Sg) y semillas pequeñas (Sp), se registró su peso en una balanza analítica (Scientech SA120; Colorado, USA), la longitud y anchura se obtuvieron con un vernier digital (Mitutoyo). El tamaño de semilla fue considerado como un factor de evaluación en el experimento.

Siembra de semillas

Las semillas de las cuatro especies evaluadas se sometieron a dos tratamientos pregerminativos: 1) remojo en agua destilada durante 6 h (Ra) y 2) remojo durante 2 h en el producto comercial Byozime®TF (Rb) (zeatina (0.0094%), giberelinas (0.0036%), auxinas (0.0036%)) a razón de 5 ml l⁻¹ de agua, se incluyó también un control (sin remojo). La siembra se realizó en charolas de unisel de 200 cavidades, se utilizó suelo (previamente cribado) de la región donde se colectaron las semillas, antes de la siembra, las charolas con suelo se regaron hasta llegar a capacidad de campo, se depositó una semilla por cavidad. Se aplicaron riegos cada tercer día. Las charolas se mantuvieron durante todo el experimento bajo condiciones semicontroladas.

Variables evaluadas



Las variables evaluadas fueron número de plántulas emergidas (E), dos meses después de la siembra se determinó la longitud de la hoja (LH), la longitud de la raíz (LR) y el diámetro de tallo (DT), las mediciones se realizaron con un vernier digital (Mitutoyo).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se evaluaron 6 tratamientos por especie en un arreglo factorial 3x2 asignados a un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones con 10 semillas cada una para la variable E, para las variables de crecimiento se consideraron 15 plantas por tratamiento. Los factores evaluados fueron tratamientos pregerminativos y tamaño de semilla. Los datos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), con el paquete estadístico SAS®, versión 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tamaño de semillas

Las semillas de las cuatro especies de agave mostraron diferencias significativas para los parámetros evaluados. Las semillas con mayor longitud y anchura se presentaron en cuishe. Las semillas más pesadas se encontraron en tobalá, pero también fueron las que presentaron menor longitud y anchura (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valor medio de longitud, anchura y peso de dos tamaños de semilla para cuatro especies silvestres del género Agave (n=100).

Parámetros	Sierrudo		Tobalá		Cuishe		Coyote	
	Grande	Pequeña	Grande	Pequeña	Grande	Pequeña	Grande	Pequeña
Longitud (cm)	0.95a*	0.73b	0.63a	0.53b	1.00a	0.74b	0.87a	0.56b
Anchura (cm)	0.71a	0.51b	0.45a	0.38b	0.72a	0.60b	0.62a	0.53b
Peso (g)	0.009a	0.006b	0.012a	0.010b	0.0065a	0.0064a	0.009a	0.006b

*Medias con letras iguales en la misma fila no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Efecto de tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de agaves silvestres.

Los tratamientos pregerminativos mostraron un efecto significativo para las variables E en tobalá y cuishe (Cuadro 2), LH en tobalá, cuishe y sierrudo, LR en cuishe y DT en sierrudo (Cuadro 3). Aun cuando hubieron diferencias significativas en las variables antes mencionadas, los efectos más importantes fueron generados por el tamaño de semilla y la interacción tratamiento pregerminativo×tamaño de semilla ya que estas fuentes de variación representan la mayor varianza del experimento de acuerdo al valor de los cuadrados medios (Cuadros 2 y 3).



Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable emergencia como respuesta a tratamientos pregerminativos, tamaño de semilla y la interacción de ambos factores en especies silvestres del género *Agave*.

F. V.	G.L.	Coyote	Tobalá	Cuishe	Sierrudo
(TP)	2	2.03	9.23*	6.53*	3.63
(TS)	1	16.13*	8.53*	7.50*	10.80*
TS x TP	2	0.43	2.03*	15.60*	3.90
Error	24	1.65	1.93	1.40	2.15
CV (%)		27.52	30.67	31.41	30.12

F.V., fuentes de variación; T.P., tratamiento pregerminativo; TS, tamaño de semilla; C.V., coeficiente de variación; G. L., Grados de libertad; *, Significativo ($P \leq 0.05$).

Cuadro 3. Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables longitud de hoja, longitud de raíz y diámetro de tallo como respuesta a tratamientos pregerminativos, tamaño de semilla y la interacción de ambos factores en especies silvestres del género *Agave*.

F.V.	G.L.	Coyote			Tobalá			Cuishe			Sierrudo		
		LH	LR	DT	LH	LR	DT	LH	LR	DT	LH	LR	DT
(TP)	2	0.63	3.17	0.61	0.75*	0.17	1.31	4.04*	7.00*	0.80	1.48*	1.74	1.60
(TS)	1	5.95*	0.09	0.54	0.58	0.16	0.56	7.07*	2.90*	1.32*	3.31*	19.26*	3.08*
TSxTP	2	3.49*	3.65	0.81	0.64*	1.09	0.39	2.66*	14.26*	2.63*	0.06*	1.40*	1.76*
Error	54	0.34	1.73	0.36	0.19	0.41	0.73	0.51	0.70	0.37	0.26	1.54	0.45
CV(%)		17.63	61.20	15.28	16.60	46.57	18.24	23.06	41.42	16.84	14.95	50.02	19.71

F.V., fuentes de variación; G. L.: Grados de libertad; *, Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

Respecto al control, el Ra promovió incrementos de 55.1 y 54.2% en la emergencia de semillas de cuishe y tobalá respectivamente (Cuadro 4). La LR en cuishe incrementó 68% con Rb. En tobalá y cuishe el control mostró los mayores incrementos para LH respecto de Rb, en sierrudo no hubo diferencias significativas de los tratamientos pregerminativos respecto del testigo para LH (Cuadro 5).

Hernández-Cruz *et al.* (2000) evaluaron remojo de semillas de *A. victoriae*– *reginae* T. Moore en agua destilada, en tiourea a una concentración de 0.5% durante 3 h, en ácido giberélico a una concentración de 100 ppm durante 6 h y en nitrato de potasio a una concentración de 2% durante 30 min, estos autores no encontraron diferencias significativas en los porcentajes de germinación respecto al control. Los resultados de este estudio coinciden con los resultados de E obtenidos para sierrudo y coyote, pero no para tobalá y cuishe, donde los mayores valores se obtuvieron con Ra. Al respecto Raven y Curtís (1975) mencionaron que las semillas de algunas especies del desierto germinan solamente cuando ha caído suficiente agua de lluvia para lixiviar los inhibidores químicos del episperma.



Cuadro 4. Número de plántulas emergidas como respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos pregerminativos y tamaños de semilla en especies silvestres del género *Agave*.

Factor	Sierrudo	Tobalá	Cuishe	Coyote
Tratamiento pregerminativo				
Remojo en Byiozime®TF	4.8a*	4.7ab	3.9ab	4.7a
Remojo en agua	4.3a	5.4a	4.5a	5.1a
Control	5.5a	3.5b	2.9b	4.2a
Tamaño de semilla				
Grande	5.4a	4.0b	4.2a	5.4a
Pequeña	4.2b	5.0a	3.2b	3.9b

*Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

Efecto del tamaño de semilla en la emergencia y crecimiento inicial de agaves silvestres

El tamaño de semilla no mostró un efecto significativo para las variables de crecimiento en tobalá. En sierrudo hubo efectos significativos para las tres variables de crecimiento, en cuishe el efecto significativo fue para LH y LR y en coyote para LH (Cuadro 3). El tamaño de semilla tuvo un efecto significativo para la variable E en las cuatro especies evaluadas (Cuadro 2). Para las especies y variables antes mencionadas el tamaño de semilla representa la mayor varianza del experimento por encima de tratamientos pregerminativos y la interacción, por lo que se considera determinante en los resultados obtenidos (Cuadros 2 y 3). De acuerdo al valor de los cuadrados medios para la variable LR en cuishe y DT en sierrudo, la respuesta es atribuida a la interacción más que al factor individual (Cuadro 2).

Las Sg promovieron incrementos de 28.1, 30.6 y 37.4% en la E de sierrudo, cuishe y coyote, respectivamente. En tobalá las Sp incrementaron la E en 26.5% comparado con Sg (Cuadro 4). El crecimiento vegetativo se favoreció con las Sg, la LH incrementó 14.7, 20.8 y 24.4% en sierrudo, coyote y cuishe respectivamente (Cuadro 5), en sierrudo el DT incrementó 14% y la LR 59.6%. En cuishe la LR incrementó 24.4% con Sp (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos en este experimento difieren con lo reportado por Peña-Valdivia *et al.* (2006), estos autores no encontraron relación entre el tamaño de semilla, la imbibición y la germinación en condiciones de laboratorio, de ocho colectas de semilla de *A. salmiana* de San Luis Potosí ('Blanco', 'Chino' y 'Liso'). Zaman *et al.* (2010) indicaron que el tamaño de la semilla de una especie influye tanto en la germinación como en la expresión del vigor de la plántula. En este experimento, las Sg promovieron una mayor emergencia y en algunas especies crecimiento vegetativo, en muchas especies se ha determinado que a mayor tamaño de semilla, mayor germinación, superficie foliar y supervivencia de la plántula (Leishman *et al.* 2000), se asume que las semillas grandes germinan y emergen mejor bajo debido a sus mayores reservas de carbohidratos y de humedad (Buckley *et al.*, 1988).



Cuadro 5. Longitud de la hoja, diámetro de tallo y longitud de raíz como respuesta a la aplicación de tratamientos pregerminativos y diferentes tamaños de semilla en especies silvestres del género *Agave*.

Factor	Sierrudo			Tobalá			Cuishe			Coyote		
	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR
	----- cm -----											
Tratamiento pregerminativo												
Remojo en Byiozime®TF	3.6a*	3.6a	2.8a	2.4b	4.4a	1.2a	2.6b	3.6a	2.7a	3.1a	4.0a	1.7a
Remojo en agua	3.1b	3.5a	2.3a	2.7ab	4.6a	1.4a	3.2a	3.8a	1.6b	3.4a	4.0a	2.5a
Testigo	3.5ab	3.1a	2.2a	2.7a	4.9a	1.4a	3.5a	3.4a	1.6b	3.4a	3.7a	2.1a
Tamaño de semilla												
Grande	3.6a	3.6a	3.0a	2.5a	4.8a	1.3a	3.4a	3.8a	1.8b	3.6a	4.0a	2.1a
Pequeña	3.1b	3.2b	1.9b	2.7a	4.6a	1.4a	2.7b	3.5a	2.2a	3.0b	3.8a	2.1a

LH, longitud de hoja; DT, diámetro de tallo; LR, longitud de raíz; *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

Los resultados obtenidos en el crecimiento de plántulas difieren de lo reportado por Vázquez *et al.* (2011), quienes después de la emergencia no encontraron diferencias en el crecimiento de variantes (“Chino”, “Liso” y “Blanco”) de *A. salmiana*. Valdez *et al.* (2015) encontraron que en las semillas pequeñas de *Malva parviflora* L., la longitud máxima de la raíz de las plántulas fue alrededor de 30 mm, y 45 mm con la semilla grande, el agotamiento de reservas en las semillas pequeñas y grandes se presentó 14 y 22 dds. Vázquez *et al.* (2011) encontraron que semillas de *A. salmiana* de la variante “Blanco” presentaron una mayor velocidad en la emergencia y en el número de plantas emergidas comparado con las variantes ‘Chino’ y ‘Liso’, los autores lo atribuyeron posiblemente al menor tamaño de semilla, algo similar se obtuvo en este estudio donde las semillas pequeñas de tobalá promovieron una mayor E. Kikusawa y Koyama (1999) mencionaron que la tasa de imbibición inicial de semillas está determinada por su tamaño siendo mayor en semillas de tamaño pequeño.

Peña-Valdivia *et al.* (2006) encontraron en *A. salmiana* una correlación negativa entre el tamaño de semilla y la cantidad de agua absorbida, la cual es un elemento fundamental en el proceso de germinación y emergencia. Leishman *et al.* (2000) indicaron que la probabilidad de éxito en el crecimiento está relacionada con el tamaño de la semilla, plantas de semillas pequeñas como *A. striata* tienen más posibilidades de adaptación y supervivencia (Smith y Fretwell, 1974). Rastegar *et al.* (2011) reportaron que las semillas de soya (*Glycynemax* cv. DPX) de menor tamaño, tuvieron mejor uniformidad en la germinación comparada con las semillas grandes, ya que las pequeñas transfieren un porcentaje mayor de reservas a las plántulas en crecimiento, se ha encontrado también que la germinación y emergencia de semillas está relacionada con el tipo de nutrientes almacenados (Valdez *et al.*, 2015).



Efecto de la interacción de tratamientos pregerminativos y tamaños de semilla en la emergencia y crecimiento inicial de agaves silvestres

La interacción fue significativa para la variable LH en las cuatro especies evaluadas y para DT y LR en cuishe y sierrudo (Cuadro 3). Para la variable E, la interacción fue significativa en cuishe y tobalá (Cuadro 2). Aun cuando se presentaron efectos significativos en las variables y especies antes mencionadas, solamente en cuishe se presentó un buen sinergismo para las variables E, DT y LR las cuales representan el 50.27, 57.43 y 51.36% de la varianza total del experimento respectivamente (Cuadros 2 y 3). En cuishe para la variable E, el tratamiento Ra+Sg, mostró incrementos de 128.5% en comparación con el Control+Sp (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número de plántulas emergidas como respuesta a la interacción de diferentes tratamientos pregerminativos y tamaños de semilla en especies silvestres del género *Agave*.

Interacción	Sierrudo	Tobalá	Cuishe	Coyote
C+ Sg	5.4a*	4.6ab	3.0b	5.0a
C+Sp	5.6a	4.8ab	2.8b	3.4a
Ra+ Sg	5.4a	4.4ab	6.4a	5.6a
Ra +Sp	3.2a	6.4a	2.6b	4.6a
Rb+ Sg	5.6a	3.0b	3.4b	5.6a
Rb+Sp	4.0a	4.0ab	4.4ab	3.8a
<i>p</i>	0.1847	0.0255	0.0004	0.7712

C, control; Sg, semilla grande; Sp, semilla pequeña; Ra, remojo en agua; Rb, remojo en Byozime®TF; *p*, significancia de F (0.05); *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

El DT se incrementó con el tratamiento Ra+Sg, respecto de T+Sp los incrementos fueron de 42.8 y 33.3% en sierrudo y cuishe respectivamente. En cuishe para LR, la interacción Rg+Sp promovió un incremento de 245.4% con relación a Ra+Sp (Cuadro 7). En el resto de variables de crecimiento el efecto es atribuido al factor tamaño de semilla más que a la interacción (Cuadros 2 y 3).

El tamaño de la semilla y los tratamientos pregerminativos, son parámetros importantes para el crecimiento vegetal, semillas de tamaño grande generan plantas más grandes que las semillas más pequeñas, un crecimiento temprano más rápido de las plantas a partir de semillas más grandes y mediante la utilización de tratamientos pregerminativos puede ser ventajoso en el establecimiento de plantas en condiciones semiáridas (Vázquez *et al.*, 2011).



Cuadro 7. Longitud de la hoja, diámetro de tallo y longitud de raíz como respuesta a la aplicación de tratamientos pregerminativos y diferentes tamaños de semilla en especies silvestres del género *Agave*.

Interacción	Sierrudo			Tobalá			Cuishe			Coyote		
	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR
	cm											
C+Sg	3.7a*	3.4abc	3.2a	2.4b	5.1a	1.1a	3.4a	3.5b	1.6b	4.0a	3.8a	2.3a
C+Sp	3.3ab	2.8c	2.3ab	3.0a	4.7a	1.7a	3.5a	3.4b	1.7b	2.7b	3.6a	1.8a
Ra+Sg	3.4ab	4.0a	3.2a	2.7ab	4.8a	1.5a	3.6a	4.4a	2.2b	3.3ab	4.3a	2.7a
Ra+Sp	2.8b	3.1bc	1.5b	2.7ab	4.5a	1.3a	2.7ab	3.3b	1.1b	3.6a	3.7a	2.4a
Rb+Sg	3.8a	3.5abc	2.6ab	2.4b	4.4a	1.3a	3.2a	3.5b	1.5b	3.5a	3.8a	1.2a
Rb+Sp	3.4ab	3.7ab	1.8ab	2.4b	4.5a	1.2a	1.9b	3.8ab	3.8a	2.7b	4.1a	2.3a
<i>p</i>	.0478	.0271	.0409	.0433	.5860	.0820	.0091	.0021	<.0001	.0002	.1152	.1320

C, Control; Sg, semilla grande; Sp, semilla pequeña; Ra, remojo en agua; Rg, remojo en Byozime®TF; *p*, significancia de F (0.05); *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

CONCLUSIONES

El tamaño de semilla fue el factor determinante en los resultados obtenidos. Las semillas grandes favorecieron la emergencia de agave sierrudo, cuishe y coyote, mientras que las semillas pequeñas promovieron una mayor emergencia en tobalá. El remojo en agua promovió mayor emergencia en cuishe y tobalá. Las plántulas que emergieron de semillas grandes de agave sierrudo tuvieron una mayor LH, DT y LR. Las plántulas que emergieron de semillas grandes de agave cuishe tuvieron mayor LH y LR. Las plántulas que emergieron de semillas grandes de agave coyote mostraron mayor LH. Con semillas pequeñas se incrementó la LR en cuishe. Los tratamientos pregerminativos no promovieron el crecimiento vegetal. La interacción tratamiento pregerminativo×tamaño de semilla mostró un buen sinergismo para las variables E, DT y LR en cuishe.

LITERATURA CITADA

- Baskin, J. M. and C. C. Baskin. 1971. The ecological life history of *Agave virginica* L. in Tennessee cedar glades. *American Midland Naturalist* 86: 449–462.
- Buckley, D. S., T. L. Sharik and J. G. Isebrands. 1998. Regeneration of northern red oak: positive and negative effects of competition removal. *Ecology* 79(1): 65-78.
- Eguiarte, L. E., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66: 131-150.
- Flores, J., C. G. Salvatierra y J. Enrique. 2016. Effect of light on seed germination and seedling shape of succulent species from México. *Journal of Plant Ecology* 9: 174-179.
- Freeman, C. E., R. S. Tiffany y W. H. Reid. 1977. Germination responses of *Agave lechuguilla*, *A. parryi*, and *Fouquieria splendens*. *Southwestern Naturalist* 22: 195–204.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los Agaves en México. *Ciencias* 87: 14-23.



- Hernández-Cruz, O. A., O. A. M. Rodríguez, E. B. Contreras y E. Santamaría. 2000. Evaluation of six pregerminative treatments of noa seeds (*Agave victoriae-reginae* T. Moore). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* I(1): 29-36.
- Kikusawa, K. and H. Koyama. 1999. Scaling soil water absorption by seeds: an experiment using seed analogues. *Seed Science Research* 9: 171-178.
- Leishman, M. R., I. J. Wright, A. T. Moles and M. Westoby. 2000. The evolutionary ecology of seed size. In: Fenner M. (ed.) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd edn. CABI Publishing, New York, pp. 31-58.
- Peña-Valdivia, C. B., A. B. Sánchez-Urdaneta, J. R. Aguirre, C. Trejo, E. Cárdenas and A. Villegas. 2006. Temperature and mechanical scarification on seed germination of “maguey” (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology* 34: 47-56.
- Portillo, L. y F. Santacruz-Ruvalcaba. 2006. Factibilidad de uso de un nuevo sistema de inmersión temporal (Orbitabion®) para embriogénesis somática de *Agave tequilana* Weber cultivar azul. *Bol. Nakari* 17: 43-48.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre, J. A. Reyes, A. B. Sánchez and S. V. Guadarrama. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican Agave species with an extensive history of human use. *Plant Species Biology* 27: 124-137.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia, C. Trejo and J. R. Aguirre. 2014. Seed germination of Agave species as influenced by substrate water potential. *Biological Research* 47(1):11.
- Rastegar, Z., M. Aghighi and S. Kandi. 2011. The effect of salinity and seed size on seed reserve utilization and seedling growth of soybean (*Glycine max*). *International Journal of Agronomy and Plant Production* 2: 1-4.
- Raven, P. H. and H. Curtis. 1975. *Biología vegetal*. Ed. Omega. España. 716 p.
- Smith, C. C. and S. D. Fretwell. 1974. The optimal balance between size and number of offspring. *American Naturalist* 118: 860-864.
- Valdez, E. G., J. K. Shibata, R. G. Nava, D. M. Moreno, J. T. García y A. E. García. 2015. Tamaño de semilla, granulometría del sustrato y profundidad de siembra en el vigor de semilla y plántula de dos malezas. *Agrociencia* 49: 899-915.
- Valenzuela-Zapata, A. G. and G. P. Nabhan. 2003. *Tequila: A Natural and Cultural History*. The University of Arizona Press, Tucson. 122 p.
- Vázquez, D. E., R. G. Nava, C. B. P. Valdivia, H. M. R. Tobías y V. M. Ramos. 2011. Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3): 167-173.
- Zaman, K. A., P. Shah., F. Mohd., H. Khan., A. S. Perveen., S. Nigar., S. K. Khalil and M. Zubair. 2010. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in wheat. *Pakistan Journal of Botany* 42: 3147-3155.



CRECIMIENTO DE *Agave potatorum* CULTIVADO EN AMBIENTES CONTRASTANTES Y FERTIRRIGACIÓN

[GROWTH OF *Agave potatorum* CULTIVATED IN CONTRASTING ENVIRONMENTS AND FERTIGATION]

Isidro Morales, Gabino A. Martínez Gutiérrez[§], Carlos I. Cortés-Martínez, Teodulfo Aquino Bolaños, Cirenio Escamirosa Tinoco, Martín Hernández Tolentino

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN-OAXACA). Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230, Oaxaca. México. Teléfono: (951) 5170610 Ext. 82786. (imoralesg@ipn.mx, solemia7@hotmail.com, cescamirosa@ipn.mx, mahernandezto@ipn.mx, taquino@ipn.mx). [§]Autor para correspondencia: (gamartinezg@ipn.mx).

RESUMEN

En Oaxaca, el aprovechamiento de los agaves silvestres para la producción de mezcal se ha incrementado en la última década, siendo necesario conocer los requerimientos nutrimentales y ambientales para su posible cultivo intensivo. El objetivo fue evaluar el crecimiento en un año de *Agave potatorum* Zucc., cultivado en invernadero y campo, fertirrigadas con 25, 50, 75, 100 % de concentración de la solución nutritiva de Stenier. Los tratamientos se condujeron bajo un diseño completamente al azar y como variables respuesta; las ambientales: temperatura, humedad relativa y radiación; de crecimiento: altura de planta, número, largo y ancho de hojas, diámetro de piña, longitud y peso de raíz, biomasa fresca; y de calidad: sólidos solubles totales. La temperatura ambiental fue mayor en el invernadero. En campo, se obtuvo la mayor humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa e integrada. Las plantas mantenidas en invernadero y con solución nutritiva, alcanzaron los mayores valores de crecimiento, mientras que el mayor contenido de sólidos solubles se obtuvo en plantas mantenidas en campo y con aplicación de solución nutritiva. El manejo intensivo de *A. potatorum* en invernadero puede ser una opción para aumentar el crecimiento de la planta y acortar el ciclo de cultivo.

Palabras clave: Fertilización, maguey tobalá, *Agave silvestre*.

ABSTRACT

In Oaxaca, the use of wild agaves for the production of mezcal has increased in the last decade, being necessary to know the nutritional and environmental requirements for its possible intensive cultivation. The aim of this work was to evaluate the effect of the application of four concentrations of the Steiner nutrient solution; 25, 50, 75, 100 % and the control without solution, on the *Agave potatorum* Zucc cultivated during a year in greenhouse and field. These treatments were done under a completely randomized design. The climate variables evaluated were: temperature, relative humidity and radiation; the growth variables: height of plant, number, length and width of leaves, diameter of pineapple, length and weight of root, fresh biomass; and the



quality variable: total soluble solids. The environmental temperature was higher in the greenhouse. In the field, the highest relative humidity and photosynthetically active and integrated radiation was registered. The plants maintained in the greenhouse and with nutrient solution reached the highest growth values, while the highest content of soluble solids was obtained in plants maintained in the field and with the application of a nutritive solution. Intensive management of *A. potatorum* in greenhouse can be an option to increase the plant growth and shorten the growing cycle.

Index words: Fertilization, Maguey tobalá, wild Agave.

INTRODUCCIÓN

El 60 % de la República Mexicana, corresponde a regiones con zonas áridas y semiáridas, con características de escasa precipitación, suelos pedregosos de baja fertilidad y terrenos con pendientes pronunciadas (INEGI, 2005), en donde crecen y se desarrollan especies vegetales xerofitas como cactáceas y agaves. Estos últimos han tenido y tienen una gran importancia económica y cultural como fuente de alimentos, bebidas, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras, abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas, entre otros usos (García-Mendoza, 2012), además, poseen características que los diferencian de otras especies vegetales como tolerancia a la sequía y capacidad de resistir a la deshidratación (Nobel, 1998). De acuerdo a la CONABIO (2006), existen 159 especies de agave, distribuidos en todo el territorio mexicano, lo cual representa el 75 % de las especies de Agave en el mundo y de estas 125 son potencialmente útiles para la extracción de mezcal (Palma-López *et al.*, 2016).

Para Oaxaca en el año 2015 se reportaron 18 150 ha sembradas con Agave, principalmente *Agave angustifolia* Haw., regionalmente conocido como “espadín” por la forma de sus hojas (COMERCAM, 2015). En los últimos cinco años, la industria tequilera de Jalisco y mezcalera de Oaxaca, han tenido una fuerte demanda mundial de sus respectivos productos, la cual ha provocado escasez de materia prima, esto ha ocasionado que en Oaxaca, los destiladores artesanales de mezcal de las zonas serranas utilicen como sustitutos diversas especies silvestres, entre las que destaca *A. potatorum* Zucc., de quien se obtiene el mezcal “tobala” apreciado por su elevada proporción de compuestos aromáticos volátiles, alta calidad y propiedades organolépticas que son características inherentes a su especie (Molina-Guerrero *et al.*, 2007; Vera-Guzmán *et al.*, 2010). *A. potatorum* crece y se reproduce, en suelos poco fértiles, erosionados, pedregosos, con pendientes pronunciadas y sin aporte externo de nutrimentos y agua, al ser una planta CAM, optimiza al máximo el agua de lluvia y los pocos nutrientes que contiene el suelo para lograr su crecimiento y fructificación el cual es muy lento.

El manejo de la nutrición de los cultivos está dirigido a modificar el régimen nutrimental de las plantas y a mejorar la capacidad y fertilidad del suelo, para aumentar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Garate y Bonilla, 2008). Existen pocos estudios relacionados a la fertilización de los Agaves, estos se concentran en *A. tequilana* Weber principalmente para las zonas productoras de Jalisco (Mendoza, 1999). Para *A. angustifolia* y especies silvestres del sur



de México; como Oaxaca, los estudios son incipientes e indican que tanto *A. angustifolia* como *A. potatorum* aceleran su crecimiento, aumentan el diámetro y número de hojas y la biomasa, al ser trasplantados en suelos con materia orgánica y aplicación altas de NPK (Martínez-Ramírez *et al.*, 2013). Las prácticas comúnmente reportadas son aplicaciones empíricas de abonos orgánicos como el estiércol bovino, algunos residuos de la agroindustria del mezcal como el bagazo, entre otros, aportes que proporcionan algunos beneficios nutrimentales al suelo y a las plantas, sin embargo su manejo no es el adecuado, debido a que no se incorporan cantidades basadas en análisis del suelo o del abono en congruencia con la fenología de la planta. El presente trabajo tuvo como objetivo la aplicación de diferentes soluciones nutritivas y evaluar su efecto en el crecimiento y calidad de plantas jóvenes de *Agave potatorum* Zucc., establecidos en suelo e invernadero y campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Agave potatorum Zucc.

Se utilizaron plantas de *Agave potatorum* Zucc. de seis meses adquiridas en un vivero de la Sierra Sur de Oaxaca, con altura promedio de 15 cm, a quienes se les podó las raíces y aplicó caldo bordelés (cal + cobre) para la prevención de enfermedades fúngicas y fueron colocadas bajo sombra durante ocho días para su cicatrización y posterior trasplante en suelo en invernadero y campo, con una densidad de $0.3 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$.

Establecimiento del experimento

El trabajo se realizó en campos experimentales del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN-OAXACA), ubicado en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán ($17^{\circ} 1' 31'' \text{ N}$, $96^{\circ} 43' 11'' \text{ O}$ y 1530 msnm). Se utilizó un invernadero tipo túnel de $30 \times 8 \times 5 \text{ m}$ de largo, ancho y alto respectivamente, con cubierta de polietileno blanco de 200 μm de espesor.

Para el cultivo en campo se utilizó un terreno agrícola contiguo al invernadero. Al suelo se le determinaron sus propiedades físicas de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000) y los resultados fueron: textura arenosa con 91 % arena, 2.7 % limo y 6.3 % arcilla, densidad aparente de $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, capacidad de campo y punto de marchitez de 8.5 y 3.5 % respectivamente, infiltración básica de $6.3 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$, pH 7.6, materia orgánica 1.6 %, CE del extracto de saturación de $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ y 92, 142, 4318, 350 y $253 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de P, K, Ca, Mg y SO_4 extractables respectivamente y $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de N-NO_3 .

Tratamientos y diseño experimental

Los riegos se realizaron cada 8 días, durante el primer mes se aplicó únicamente agua, debido a que en esta etapa las plantas estaban generando nuevas raíces, posteriormente se inició con la aplicación de la solución nutritiva, a cada planta se le aplicó semanalmente de forma manual un



litro de solución nutritiva basada en la formulación de Steiner (1984) y preparada con fertilizantes solubles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentajes de macronutrientes basados en la solución universal de Steiner (1984).

Nutrientes	100 %	75 %	50 %	25 %
	(mg·L ⁻¹)			
Nitratos (NO ₃ ⁻)	736.82	552.42	386.28	184.20
Fósforo (HP ₄)	30.60	22.99	15.30	7.65
Potasio (K ⁺)	279.74	209.80	139.87	69.93
Magnesio (Mg ⁺⁺)	49.08	36.81	24.54	12.27
Calcio (Ca ⁺⁺)	182.37	136.73	91.18	45.59
Azufre (SO ₄ ⁻)	112.07	84.05	56.03	28.01

Los tratamientos fueron: dos ambientes (invernadero y campo) y cuatro concentraciones derivadas de la solución nutritiva Universal de Steiner (25, 50, 75 y 100%) y como testigo sin solución nutritiva. La unidad experimental fueron tres plantas, con diez repeticiones cada una y se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 2 × 4.

Temperatura, Humedad Relativa y Radiación fotosintéticamente activa e Integrada

La temperatura (°C) y humedad relativa (%) en el interior del invernadero y en campo se registró cada 5 min con un Datalogger U23-001 (HOBO[®] Pro v2 Temp/RH, USA). La Radiación Fotosintéticamente Activa RFA (μmol·m⁻²·s⁻¹) se registró tres veces por mes, durante todo el año, en días soleados, las lecturas se realizaron cada hora entre las 8:00 y 18:00, con un sensor cuántico LI-191SA[®] (LI-COR, EEUU). Con los valores promedio por hora de la RFA se calculó la Radiación Fotosintéticamente Activa Integrada (RFAI, mol·m⁻²·dia⁻¹) de acuerdo a Faust (2002) y Chang *et al.* (2008).

Variables de crecimiento

La datos se obtuvieron 12 meses de edad, posteriores al trasplante, y fueron: altura de planta (AP): se midió a partir de la base del tallo en línea recta hasta la parte más alta de la planta, se hizo manualmente con un flexómetro; número de hojas (NH): cuantificando todas las hojas que se encontraban desplegadas del cogollo o piña; ancho de hojas (AH: se midió en la parte media de las hoja más anchas y se etiqueto para su seguimiento, diámetro de tallo o piña (DT): se midió en la parte más ancha de la piña y se realizó con un vernier digital; longitud y peso fresco de raíz y biomasa (LR, PFR y PFB): se realizó con un flexómetro y una balanza digital (OHAUS[®]) respectivamente. El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó en tres partes de la piña, con un refractómetro digital (HI 96801, HANNA Instruments[®]).



Análisis de datos

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias por Tukey, para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SAS software versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura, Humedad relativa y Radiación Fotosintéticamente Activa e Integrada

Durante el periodo de evaluación de *A. potatorum*, la temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa e integrada del invernadero y campo fueron significativamente diferentes (Cuadro 2). La mayor temperatura ambiental promedio se tuvo en el invernadero (22.5 °C), superando en un 14 % al campo, la humedad relativa fue menor en el invernadero (55 %), superado en un 8% por el campo. Estos valores podrían no representar diferencias en el crecimiento del cultivo debido a la adaptación a amplios rangos de temperatura y humedad relativa por el metabolismo que presentan estas especies.

Cuadro 2. Parámetros climáticos en invernadero y campo en donde se cultivaron plantas jóvenes de *A. potatorum* Zucc.

Ambientes	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	RFA ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	RFAI ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$)
Invernadero	22.50 a*	55.20 b	855.46 b	31.20 b
Campo	19.75 b	59.62 a	1205.29 a	43.40 a

Promedios de 36 mediciones durante el ciclo de cultivo. *Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05). RFA y RFAI: Radiación Fotosintéticamente Activa e Integrada, respectivamente.

Las plantas establecidas en campo recibieron 40 % y 39 % más radiación fotosintéticamente activa e integrada respectivamente, respecto a las establecidas en invernadero. La RFA y RFAI recibida por las plantas fue superior a los requerimientos de cultivos demandantes de radiación como el tomate (*Solanum lycopersicum*) que es de 30 a 35 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (Hernández and Kubota, 2014).

El análisis de varianza mostró diferencia estadística significativa en los factores evaluados y en la interacción para la mayoría de los parámetros (Cuadro 3). Para el factor ambiente (invernadero y campo), todas las variables mostraron diferencias estadísticas significativas y altamente significativas. La solución nutritiva y la interacción de los factores tuvieron efecto significativo para la altura de planta, ancho y largo de las hojas.



Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de plantas de *A. potatorum* establecidas en campo e invernadero fertirrigadas a diferentes porcentajes de solución nutritiva.

Fuente de variación	Cuadrados medios			
	Altura de planta	Número de hojas	Ancho de hoja	Longitud de hojas
Ambiente (SP)	119.46***	25.00*	99.40***	38.52***
Solución nutritiva (SN)	18.12*	3.90 NS	1.40***	5.64*
SP ^x SN	19.84**	2.70 NS	14.18***	7.08*

NS, *, ** y ***: No significativo, significativo, altamente y muy altamente significativo, respectivamente.

Variables de crecimiento

La altura de planta, el número, ancho y longitud de hojas, longitud y peso fresco de raíz tuvieron los mayores valores en las plantas establecidas en invernadero, superando en un 8, 6, 21, 16, 10 y 51 % a las plantas cultivadas en campo (Tabla 4). La aplicación de solución nutritiva Steiner incrementó la altura de las plantas, sin embargo, la mayor altura se obtuvo al 50 % de concentración, superando en un 13 % al testigo.

El número de hojas no tuvo un comportamiento definido como respuesta a la aplicación de solución nutritiva, este comportamiento es similar a lo reportado por Martínez *et al.* (2013) quienes no encontraron diferencias estadísticas significativas en el número de hojas en *A. potatorum* al evaluar diferentes dosis de Nitrógeno. Sin embargo, Barrios-Ayala *et al.* (2006), encontraron que la aplicación de fertilización química incrementó en un 12 % el número de hojas en plantas de *A. angustifolia*, este resultado se debe a la aplicación de nitrógeno, que es el responsable del crecimiento vegetativo de las plantas.

En invernadero, las plantas tuvieron el mayor ancho de hojas con la aplicación de 50 % de solución nutritiva, superando en un 38 % a las plantas testigo, en campo la aplicación de solución nutritiva incrementó el ancho de hojas con respecto a las plantas testigo, los mayores valores fueron para las concentraciones de 25 y 75 %.

Según Granados (1999) y García-Mendoza (2002), el número y ancho de las hojas son un indicador básico del crecimiento y rendimiento del maguey, debido a que definen el tamaño de la “piña”. A partir del 50% de concentración de la solución nutritiva las plantas establecidas en invernadero tuvieron la mayor longitud de hojas con diferencias estadísticas significativas incluyendo al testigo, en campo no se tuvo un comportamiento definido. En algunas variables, los resultados no muestran un comportamiento definido al factor ambiente o solución nutritiva, esto puede deberse a la variabilidad genética existente en esta especie debido a que la semilla fue recolectada del campo sin tener un control de los progenitores.



Tabla 4. Crecimiento de plantas de *A. potatorum* Zucc. en invernadero y campo y fertirrigadas con diferentes concentraciones de elementos nutritivos.

% de solución nutritiva	Altura de planta (cm)		Número de hojas		Ancho de hoja (cm)		Longitud de hoja (cm)	
	Invernadero	Campo	Invernadero	Campo	Invernadero	Campo	Invernadero	Campo
0	21.65 b A	22.70 ab A	16.1 ab A	15.00 a A	9.10 b A	7.60 c B	18.00 c A	18.4 a A
25	24.45 a A	21.75 b B	16.6 ab A	16.00 a A	9.20 b A	8.60 ab A	20.00 b A	17.4 a B
50	26.65 a A	20.95 b B	17.10 a A	15.60 a B	12.60 a A	8.20 bc B	22.10 a A	15.6 b B
75	25.3 a A	24.00 a A	15.90 b A	15.90 a A	9.30 b A	9.20 a A	20.30 ab A	18.1 a B
100	25.2 a A	22.92 ab A	17.60 a A	15.80 a B	10.40 b A	8.20 bc B	20.70 ab A	17.2 a B
Media	24.29	22.46	16.66	15.66	10.12	8.36	20.22	17.34
	Longitud de raíz (cm)		Peso fresco de raíz (g)		Biomasa fresca (kg·planta ⁻¹)			
	Invernadero	Campo	Invernadero	Campo	Invernadero	Campo	Invernadero	Campo
0	70.00 a A*	50.00 c B	375 a A	155 c B	1.48 c B	1.77 c A		
25	60.00 b A	48.50 c B	210 b A	200 a B	2.48 a B	3.09 a A		
50	68.00 a A	64.50 b A	225 b A	195 a B	2.44 a A	1.94 c B		
75	61.50 a A	72.00 a A	340 a A	165 bc B	2.32 ab B	2.57 b A		
100	58.50 c A	52.00 c A	200 b A	175 b B	2.23 b A	1.64 c B		
Media	63.60	57.40	270	178	2.19	2.20		

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05). Letras minúsculas se analizan de manera vertical y letras mayúsculas de manera horizontal.

Las plantas establecidas en invernadero y fertirrigadas al 100 % de la solución nutritiva tuvieron la menor longitud de raíz en invernadero (19 %), con respecto al testigo, este comportamiento puede deberse a que cuando las plantas tienen agua y nutrientes en cantidades suficientes y cercanos al área de la base del tallo, estos no propician el crecimiento de raíces para la intercepción de agua y nutrientes. En campo, la longitud y peso fresco de raíz no tuvo un comportamiento determinado. En invernadero, el testigo tuvo menor biomasa fresca de planta superada por al menos el 60 % por el resto de los tratamientos. En campo, aunque la biomasa fresca fue menor en el testigo, la aplicación de solución nutritiva no tuvo una tendencia definida. Estos resultados indican que existe diferencia en acumulación de biomasa por la aplicación de solución nutritiva, el cual contiene Nitrógeno, al respecto Uvalle *et al.* (2007), menciona que el menor contenido de Nitrógeno, disminuye el desarrollo del sistema radical y el crecimiento y acumulación de biomasa de la planta.

Diámetro de la piña de Agave y solidos solubles totales

El diámetro de la piña fue 6% superior en las plantas establecidas en el invernadero con respecto a campo. En invernadero el menor diámetro de piña fue para las plantas sin solución nutritiva, en campo, los mayores valores fueron para la aplicación de solución nutritiva al 25 y 50 % (Figura 1a). Valenzuela y González (1995) trasplantaron plántulas de 1 año de edad y encontraron que la aplicación de 120 kg de nitrógeno propicia un mayor crecimiento de la cabeza de piñas en *A. tequilana* a los 6 meses después de la fertilización y a los 18 meses después del trasplante se duplicó el rendimiento con respecto al testigo.



El contenido de sólidos solubles totales fue mayor en las plantas establecidas en invernadero, en promedio 50 % con respecto a campo (Figura 1b). Las plantas establecidas en el invernadero, disminuyeron el contenido de sólidos solubles al incrementar la concentración de la solución nutritiva, sin embargo, en campo, el contenido de sólidos solubles totales incrementaron con la aplicación de solución nutritiva. Barrios-Ayala *et al.* (2006), aplicando fertilización química encontraron mayor contenido de grados °Brix (7.6) con respecto a plantas sin fertilizar (7.3).

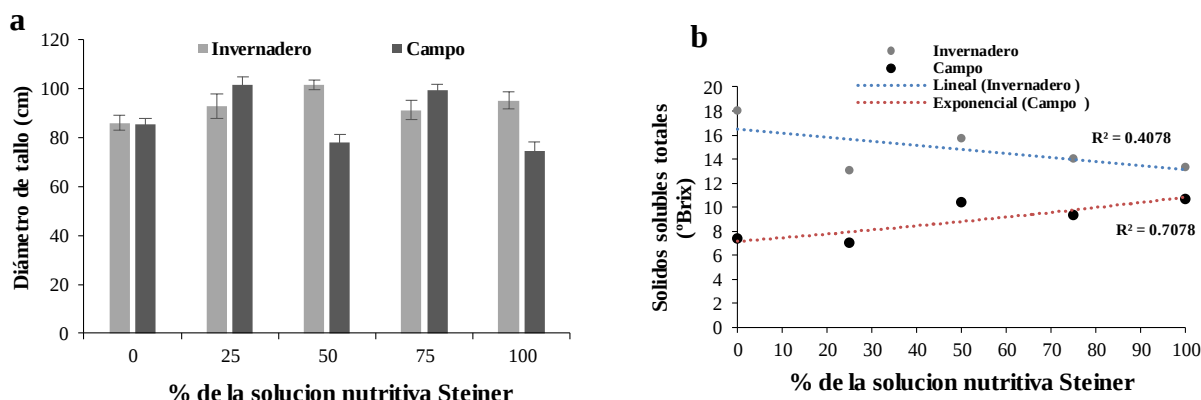


Figura 1. a) Diámetro de tallo de plantas de *A. potatorum* y b) Contenido de sólidos solubles totales en plantas de *A. potatorum* fertirrigadas con diferentes porcentajes de solución nutritiva establecidas en invernadero y campo.

CONCLUSIONES

Durante un año de cultivo en invernadero de plantas jóvenes de *A. potatorum* Zucc. se incrementó la altura, número, ancho y longitud de hojas, longitud, peso fresco de raíz y biomasa, en comparación a las cultivadas en campo y sin solución nutritiva. El contenido de sólidos solubles totales tuvo la tendencia a disminuir al incrementar la concentración de la solución nutritiva en las plantas cultivadas en invernadero, en campo el comportamiento es inverso. Por lo tanto, el manejo intensivo de *A. potatorum* puede ser una alternativa para acelerar su crecimiento y posiblemente disminuir el tiempo de cosecha de la piñas del Agave.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado al proyecto SIP-20160437.



LITERATURA CITADA

- Barrios Ayala, A. R., F. Ariza, J. M. M. Molina, H. P. Espinosa y E. M. Bravo. 2006. Manejo de la fertilización de magueyes mezcaleros cultivados (*Agave* spp) de Guerrero. Iguala, Gro., México. Folleto Técnico Núm. 13. INIFAP. Campo Experimental Iguala. 48 p.
- Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM). 2015. Informe de actividades.
- Chang X., P. G. Alderson and C. J. Wright. 2008. Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. *Environment Experimental Botanical* 63: 216-223.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). 2006. México, D.F.
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 - Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. (Consultado 10/02/2016), Disponible en < http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002>.
- Faust J. E. 2002. Light Management in Greenhouses. I. Daily Light Integral: A Useful Tool for the U.S. Floriculture Industry. (Consultado 27/03/2017), Disponible en <<http://www.specmeters.com/assets/1/7/A051.pdf>>
- Garate, A. y E. I. Bonilla. 2008. Nutrición mineral y producción vegetal. pp. 143-164. *In: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2ª. ed. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.*
- García-Mendoza, A. 2002. Distribution of agave (Agavaceae) in México. *Cactus and Succulent Journal* 74(4): 177-187.
- García-Mendoza, A. J. 2012. México, país de magueyes y mezcales. *Tecno Agave* 2(17): 22-24.
- Granados, S. D. 1999. Los agaves en México. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 252 p.
- Hernández, R. and C. Kubota. 2014. Growth and morphological response of cucumber seedlings to supplemental red and blue photon flux ratios under varied solar daily light. *Scientia Horticulturae* 173: 92-99.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). 2016. (Consultado: 20/05/2017), disponible en: <<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/default.aspx?tema=T/#>>.
- Martínez, P. M. y R. L. Tico. 1974. Agricultura Práctica. Editorial Ramón Sopena S. A., España. 680 p.
- Martínez-Ramírez, S., A. Trinidad-Santos, G. Bautista-Sánchez y E. C. Pedro-Santos. 2013. Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(4): 387-393.
- Mendoza, G. 1999. AGROSEM. Plantaciones modernas. Transferencia de Tecnología en el Cultivo del Agave. Oct-Dic. 1999. Año 4. No. 4 Guadalajara, Jalisco, México. p: 23-32.
- Molina-Guerrero, J.A., J. E. Botello-Álvarez, A. Estrada-Baltazar, J. L. Navarrete-Bolaños, H. Jiménez-Islas, M. Cárdenas-Manríquez y R. Rico-Martínez. 2007. Compuestos volátiles en el Mezcal. *Revista Mexicana Ingeniería Química* 6: 41-50.



- Nóbel, P. S., E. Quero and H. Linares. 1988. Differential growth responses of agaves to nitrogen, phosphorus, potassium, and boron applications. *Journal of Plant Nutrition* 11(12): 1683-1700.
- Nóbel, P. S. and E. G. Bobich. 2002. Initial net CO uptake responses and root growth for a CAM communities placed in a closed environment. *Annals of Botany* 90(5): 593- 598.
- Palma, C. F. de J. 1991. El género *Agave* L. y su distribución en el estado de Oaxaca. Tesis de Licenciatura. UNAM, México, DF. 161 p.
- Palma F., P. Pérez y V. Meza. 2016. Diagnóstico de la Cadena de Valor Mezcal en las Regiones de Oaxaca.
- Sánchez, L. A. 2005. Oaxaca, Tierra de Maguey y Mezcal. 2^a ed. Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca. México. pp. 235-312.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture*. Wageningen, The Netherlands. pp. 633-650.
- Uvalle, B. y C. G. Vélez. 2007. Nutrición del agave tequilero (*Agave tequilana* Weber var. Azul). pp. 69-88. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Libro Técnico Núm. 4.
- Valenzuela, Z. A. y D. R. E. González. 1995. Fertilización de agave tequilero (*A. tequiliana* Weber) en la región de Tequila, Jalisco, México. Ensayo de una metodología para analizar crecimiento en cultivos multianuales mediante una técnica no destructiva. *Terra* 13(1): 81- 95.
- Vera-Guzmán A. M., R. I. Guzmán-Gerónimo and M. G. López. 2010. Major and Minor Compounds in a Mexican Spirit, Young Mezcal Coming from Two *Agave* Species. *Czech Journal of Food Science* 28(2): 127-132.



SUSTRATOS Y TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE AGAVES SILVESTRES

[SUBSTRATES AND PRE-GERMINATION TREATMENTS ON WILD AGAVES INITIAL GROWTH]

Saúl Sánchez Mendoza^{1§}, Martha Angélica Bautista-Cruz², Omar Córdova Campos¹

¹NovaUniversitas. Carretera a Puerto Ángel Km. 34.5, Ocotlán de Morelos, Oaxaca. México. ²Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-OAXACA). Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230, Oaxaca. México. Teléfono: (951) 5170610. (mbautistac@ipn.mx, omarc_c@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: (ssmoax@hotmail.com).

RESUMEN

La reproducción sexual incrementa la variabilidad genética y mantiene la dinámica de las poblaciones de agave. Se evaluó el efecto de sustratos; bagazo de agave composteado, cosmopeat y suelo, así como tratamientos pregerminativos; remojo en agua, remojo en Byiozime®TF y un testigo en la emergencia y crecimiento de agaves silvestres: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), sierrudo (*Agave* spp.), coyote (*Agave* spp.) y cuishe (*Agave* spp.). Se evaluaron 9 tratamientos por especie en un arreglo factorial 3×3, asignados a un diseño completamente al azar. Se evaluó emergencia (E), índice de velocidad de emergencia (IVE), longitud de hoja (LH), longitud de la raíz (LR) y diámetro de tallo (DT), dos meses después del trasplante, se determinó LH y número de hojas (NH). El uso de tratamientos pregerminativos y cosmopeat aceleraron la emergencia. Respecto al control, con cosmopeat en sierrudo se presentaron los mayores incrementos para E (28.6%) y LR (160%), en cuishe para LH (57.1%) y en coyote para DT (40%), dos meses después del trasplante, el mayor incremento en NH fue en coyote (85.0%) y LH en tobalá (42.3%). Hubo sinergismo positivo para la interacción sustrato×tratamiento pregerminativo para IVE y E en sierrudo y E en coyote.

Palabras clave: Maguey, mezcal, producción.

ABSTRACT

Sexual reproduction increases genetic variability and maintains agave population dynamics. The effects of substrates were evaluated; Agave bagasse compost, Cosmopeat® and soil, as well as pregerminative treatments; Seeds soaked in water, and in Byiozime®TF and Control on the emergence and initial growth of wild agaves: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), sierrudo (*Agave* spp.), coyote (*Agave* spp.) y cuishe (*Agave* spp.). A completely randomized design was used in factorial design 3×3, obtaining 9 treatments each species. Emerged plants (E), emergence speed index (IVE), leaf length (LH), longest root length (LR) and stem diameter (DT) were counted two months after transplant in polyethylene seedling bags, LH and number of leaves (NH) were determined. The use of pregerminative and cosmopeat treatments accelerated the emergency.



Regarding the control, with cosmopeat in sierrudo presented the highest increases for E (28.6%) and LR (160%), in cuishe for LH (57.1%) and coyote for DT (40%), two months after transplantation, The largest increase in NH was presented in coyote (85.0%), LH in tobalá (42.3%). Positive synergism was obtained for the substrate interaction $\times$ pregerminative treatment for the variables IVE and E in sierrudo and E in coyote.

Index words: Maguey, mescal, production.

INTRODUCCIÓN

Muchas especies silvestres del género *Agave* son económicamente importantes para el estado de Oaxaca (México) porque son la materia prima para la producción de mezcal (Chagoya, 2004). Los agaves son plantas que se reproducen sexual y asexualmente, pero comúnmente se propagan asexualmente a través de rizomas y bulbillos en las condiciones silvestres (Valenzuela *et al.*, 2003). Los frutos producen miles de semillas, pero son escasas las que germinan y generan un individuo nuevo en el ambiente silvestre (García-Mendoza, 2007). Además, las plántulas que se logran establecer pocas veces prosperan por falta de condiciones adecuadas para su crecimiento (Eguiarte *et al.*, 2000). Los individuos originados de semilla son importantes porque son necesarios para mantener la estructura y dinámica de las poblaciones de maguey, como la de todas las plantas, ya que su ausencia disminuye la variabilidad genética (Ramírez-Tobías *et al.*, 2012).

Debido a la producción intensiva de mezcal, los agaves silvestres tienen una alta demanda, generando una sobreexplotación que trae como consecuencia que las poblaciones naturales se vean seriamente amenazadas (García-Mendoza, 2007). Sin embargo, aun cuando estas especies representan una gran importancia económica, no se han generado propuestas técnicas para su conservación mediante el mejoramiento de los sistemas de propagación sexual. La influencia de diferentes factores ambientales como la temperatura, la luminosidad y la humedad en el sustrato tienen un efecto significativo en la germinación de algunas especies de agave tales como *A. angustifolia*, *A. tequilana*, *A. aspérrima*, *A. salmiana*, *A. americana* var. *Marginata* y *A. cupreata* (Ramírez-Tobías *et al.*, 2012; Ramírez-Tobías *et al.*, 2014). Particularmente, el tipo de sustrato desempeña una función importante en la germinación y emergencia de semillas, así como en el crecimiento vegetativo. Sadeghian y Yavari (2004) mencionaron que especies adaptadas a climas secos presentan una mayor tolerancia a sustratos con baja retención de humedad. Sánchez-Urdaneta *et al.* (2011) encontraron diferencias en la emergencia, longitud de la raíz más larga y altura de plantas de *Agave salmiana* al evaluar diferentes sustratos.

Experimentalmente, se ha verificado que las semillas de algunos agaves carecen de latencia y pueden alcanzar una alta germinación (Freeman *et al.*, 1977), no obstante, el tipo de propagación y la presencia o ausencia de latencia es propio de cada especie (Aguirre *et al.*, 2001). Hernández-Cruz *et al.* (2000) no encontraron efectos significativos respecto al control al evaluar tratamientos pregerminativos en *Agave victoriae-reginae* T. Moore, sin embargo, determinaron que el remojo en agua destilada acelera de forma sustancial la germinación y emergencia. Sánchez-Urdaneta *et*



al. (2011) no encontraron diferencias significativas en la emergencia de semillas de *A. salmiana* sometidas a escarificación, sin embargo, semillas escarificadas mecánicamente seguidas de remojo durante 24 h promovieron una mayor longitud de raíz y una mayor altura de planta. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sustratos y tratamientos pregerminativos en la emergencia y el desarrollo inicial de agave tobalá (*Agave potatorum* Zucc), sierrudo (*Agave* spp.), cuishe (*Agave* spp.) y coyote (*Agave* spp.), en condiciones semicontroladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en Ocotlán de Morelos (16°48'N, 96°40'O, a 1,523 msnm), Oaxaca, México, con una temperatura media de 20.5 °C y una precipitación de 695 mm. Se utilizaron semillas de cuatro especies de agaves silvestres: agave tobalá (*Agave potatorum* Zucc), sierrudo (*Agave* spp.), cuishe (*Agave* spp.) y coyote (*Agave* spp.) colectadas en el municipio de Santa Catarina Minas (96° 38'LN, 16°47'LO, 1560 msnm), perteneciente al distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca.

Siembra

Las semillas de las cuatro especies de agave evaluadas se sometieron a dos tratamientos pregerminativos: 1) remojo en agua destilada durante 6 h y 2) remojo durante 2 h en una solución del producto comercial Byozime®TF (zeatina (0.0094%), giberelinas (0.0036%), auxinas (0.0036%)) a razón de 5 ml·l⁻¹ de agua, se incluyó también un control. La siembra se realizó en chalaras de unicel de 200 cavidades, como sustratos se utilizaron bagazo de maguey composteado, sustrato comercial cosmopeat y un control, el cual fue suelo representativo de la zona de colecta de las semillas. Se aplicaron riegos en intervalos de tres a 5 días. Después de dos meses de crecimiento en charolas, las plántulas fueron trasplantadas en bolsas de polietileno de 15 x 20 cm.

Variables evaluadas

Se realizaron observaciones diarias del número de plantas emergidas por tratamiento, con esta información se determinó el índice de velocidad de emergencia (IVE), se utilizó la fórmula propuesta por Maguirre en 1962 ($IVE = \frac{\text{número de plántulas emergidas/días a primer conteo} + \text{número de plántulas emergidas/días al conteo final}}{2}$). Se determinó también el número de plantas emergidas (E). Antes del trasplante en bolsas de polietileno se midió la longitud de la hoja (LH), el diámetro de tallo (DT) y la longitud de la raíz más larga (LR), dos meses después del trasplante se midió la LH y el número de hojas desplegadas (NH). Las mediciones de las variables de crecimiento se realizó con un vernier digital marca Mitutoyo®.

Diseño experimental y análisis estadístico



Se evaluaron 9 tratamientos por especie en un arreglo factorial 3x3 asignados a un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones con 10 semillas cada una para las variables E e IVE, para las variables de crecimiento se consideraron 15 plantas por tratamiento. Los factores evaluados fueron (i) sustratos y (ii) tratamientos pregerminativos. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) con el paquete estadístico SAS[®], versión 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). En las fuentes de variación de factores principales y sus interacciones, se calculó su proporción con respecto a la suma de cuadrados de tratamientos, como propusieron Sahagún-Castellanos *et al.* (2008) para experimentos factoriales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de sustratos en la emergencia y crecimiento de especies silvestres del género *Agave*

El uso de cosmopeat aceleró la emergencia en las especies de agave evaluadas (Cuadro 1). Con respecto al suelo (control), el cosmopeat aumentó la E en 28.6 y 24.4% en las especies sierrudo y cuishe, respectivamente. Comparado con el bagazo de maguey, cosmopeat incrementó la E en totalá (20.8%) y en coyote (22.1%).

Cuadro 1. Emergencia e índice de velocidad de emergencia como respuesta a la aplicación de diferentes sustratos y tratamientos pregerminativos en especies silvestres del género *Agave*.

Factor	Sierrudo		Tobalá		Cuishe		Coyote	
	E	IVE	E	IVE	E	IVE	E	IVE
Sustrato								
Bagazo de maguey	6.13a*	5.03b	5.46b	3.93b	7.13b	4.43b	6.33b	3.82c
Suelo	5.33b	3.84c	6.66a	4.62b	6.60b	4.90b	7.40a	4.90b
Cosmopeat	6.73a	5.95a	6.60a	6.52a	8.20a	7.10a	7.73a	6.49a
SC	22.0	41.8	66.0	84.1	48.7	78.0	36.7	72.1
Tratamiento pregerminativo								
Byiozime®TF	6.00a	5.23a	6.60a	5.40a	7.40a	5.69a	6.60b	4.48b
Remojo en agua	6.46a	5.17ab	6.06a	5.12ab	7.60a	5.85a	7.53a	5.76a
Testigo	5.73a	4.42b	6.06a	4.55b	6.93a	4.89b	7.33ab	4.97b
SC	6.1	7.5	13.7	8.7	8.5	10.0	16.5	16.8
C.V.	14.43	17.51	11.81	16.94	11.80	14.61	11.50	12.53

C.V., coeficiente de variación (%); SC, aporte relativo (%) de la suma de cuadrados; E, emergencia; IVE, índice de velocidad de emergencia; *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

En comparación con el suelo, el uso de cosmopeat incrementó la LH en sierrudo (35.0%), totalá (44.5%), cuishe (57.1%) y coyote (40.3%), el DT incrementó 27.7, 14.8 y 40% en tobala, cuishe y coyote respectivamente, los incrementos en LR fueron de 160.4% en sierrudo, 54.2% en totalá, 14.8% en cuishe y 40% en coyote (Cuadro 2).



Cuadro 2. Longitud de hoja, diámetro de tallo y longitud de raíz como respuesta a la aplicación de diferentes sustratos y tratamientos pregerminativos en especies silvestres del género *Agave*.

Factor	Sierrudo			Tobalá			Cuishe			Coyote		
	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR
----- cm -----												
Sustrato												
Bagazo de maguey	3.05b*	0.30a	3.62b	2.06ab	0.38b	3.20b	3.74b	0.27b	2.48b	2.88b	0.29b	2.62b
Suelo	3.10b	0.28a	1.62c	2.22ab	0.36b	2.73b	3.57b	0.27b	2.74b	3.04b	0.30b	2.15b
Cosmopeat	4.12a	0.28a	4.22a	3.21a	0.46a	4.21a	5.50a	0.31a	4.25a	4.21a	0.42a	4.11a
SC	68.3	37.0	89.7	92.8	88.4	85.4	94.4	41.6	91.4	90.0	53.4	92.7
T.P.												
Byiozime®TF	3.30a	0.29a	2.85a	2.46a	0.39b	3.40a	4.14a	0.30a	2.96a	3.41a	0.33ab	2.72b
Remojo en agua	3.37a	0.29a	3.31a	2.57a	0.38b	3.38a	4.21a	0.29a	3.16a	3.38a	0.36a	2.88ab
Testigo	3.61a	0.28a	3.29a	2.47a	0.43a	3.37a	4.46a	0.27b	3.36a	3.35a	0.32b	3.28a
SC	4.8	1.0	3.3	0.2	5.0	6.8	2.3	16.6	3.9	0.8	16.3	0.03
C.V.	18.93	24.69	30.16	22.15	15.80	31.55	17.37	14.13	30.96	20.06	16.30	33.52

T.P., Tratamiento pregerminativo; C.V., coeficiente de variación (%); SC, aporte relativo (%) de la suma de cuadrados; LH, longitud de hoja; DT, diámetro de tallo; LR, longitud de raíz; *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

Con relación al suelo, dos meses después del trasplante la tendencia se mantuvo, cosmopeat continuó promoviendo la LH en tobalá (42.3%), cuishe (38.3%) y coyote (34.8%), para la variable NH los incrementos fueron de 35.3, 28.3, 35.9 y 85% en sierrudo, tobalá, cuishe y coyote respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Longitud de hoja y número de hojas desplegadas como respuesta a la aplicación de diferentes sustratos y tratamientos pregerminativos en especies silvestres del género *Agave*.

Factor	Sierrudo		Tobalá		Cuishe		Coyote	
	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT
----- cm -----								
Sustrato								
Bagazo de maguey	4.04b*	1.31b	2.48b	1.88b	4.99b	1.75a	3.90b	1.46b
Suelo	4.22ab	1.33b	2.64b	1.84b	4.48c	1.42b	3.90b	1.20c
Cosmopeat	4.52a	1.80a	3.70a	2.31a	6.20a	1.93a	5.26a	2.22a
SC	23.1	76.9	76.0	53.1	88.7	59.3	79.6	86.3
Tratamiento pregerminativo								
Byiozime®TF	4.07b	1.51ab	2.91b	1.95b	5.20a	1.82a	4.26ab	1.66a
Remojo en agua	4.27ab	1.60a	3.27a	1.91b	5.20a	1.71ab	4.15b	1.62a
Testigo	4.46a	1.33b	2.64b	2.17a	5.27a	1.57b	6.64a	1.60a
SC	13.3	17.9	17.3	16.2	0.1	13.1	8.6	0.3
C.V.	16.40	29.86	23.97	21.05	17.05	22.10	18.02	26.85

C.V., coeficiente de variación (%); SC, aporte relativo (%) de la suma de cuadrados; LH, longitud de hoja; NH, número de hojas desplegadas; *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).



Sánchez-Urdaneta *et al.* (2011) en *A. salmiana*, obtuvieron el mayor número de plantas emergidas, mayor altura de planta y LR con el sustrato concha de coco comparado con vermicomposta y lodo cervecero. Jones y Sharitz (1989) establecieron que semillas que germinan primero toman ventaja de factores ambientales como luz, disponibilidad de agua o nutrientes, generando mayor tamaño en las plántulas que emergen primero. El cosmopeat presenta alto contenido de materia orgánica (69-82%) y buena retención de humedad (45-52%) se tradujo en una mayor disponibilidad de agua para la imbibición de la semilla y promover su germinación, aunque algunas investigaciones también han demostrado que la absorción de agua está relacionada con el tamaño (Peña-Valdivia *et al.*, 2006).

Efecto de tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de especies silvestres del género *Agave*

El remojo en Byiozime®TF tuvo en efecto significativo en el IVE en sierrudo, tobalá y cuishe. En coyote el remojo en agua mostro los valores más altos para E e IVE (Cuadro 1). Respecto al control, el remojo en agua incrementó el DT en cuishe (7.4%) y coyote (12.5%), en el resto de las variables para las cuatro especies evaluadas no se observaron diferencias significativas (Cuadro 2). Dos meses después del trasplante el remojo en agua promovió incrementos en NH en sierrudo (20.3%) y LH en tobalá (23.8%), el uso de Byiozime®TF incremento 15.9% el NH en cuishe (Cuadro 3). Sánchez-Urdaneta *et al.* (2011) no encontraron diferencias significativas en la emergencia de semillas de *A. salmiana* sometidas a escarificación.

Hernández-Cruz *et al.* (2000) evaluaron remojo de semillas de *A. victoriae*– *reginae* T. Moore en agua destilada, tiourea, AG3 y nitrato de potasio, estos autores no encontraron diferencias significativas en los porcentajes de germinación respecto al control, similar a lo encontrado en este experimento para sierrudo, tobalá y cuishe donde los tratamientos pregerminativos no fueron estadísticamente diferentes al control. Aun cuando no se obtuvo un incremento en la E, se obtuvieron resultados positivos en el IVE con remojo en Byiozime®TF. En coyote los resultados positivos obtenidos para E, posiblemente se deban a que con remojo en agua se lixiviaron algunos inhibidores de la germinación (Raven y Curtís, 1975).

Sánchez-Urdaneta *et al.* (2002) encontraron que la escarificación y la imbibición acelerada y la combinación de ambos procesos incrementaron el crecimiento del hipocótilo y la raíz en *A. salmiana*. Sánchez-Urdaneta *et al.* (2011) encontraron diferencias significativas en altura de planta y LR al escarificar y remojar en agua durante 24 h semillas de *A. salmiana*. En este estudio no se obtuvo una respuesta favorable de tratamientos pregerminativos en el crecimiento vegetal.

Efecto de la interacción entre sustratos y tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de especies silvestres del género *Agave*

De acuerdo al aporte relativo (%) de la suma de cuadrados de las fuentes de variación, se obtuvo un buen sinergismo entre los factores evaluados para las variables E e IVE para sierrudo y E en coyote. (Cuadro 4)



Cuadro 4. Emergencia e índice de velocidad de emergencia como respuesta a la interacción de diferentes sustratos y tratamientos pregerminativos en especies silvestres del género *Agave*.

Interacción	Sierrudo		Tobalá		Cuishe		Coyote	
	E	IVE	E	IVE	E	IVE	E	IVE
S+C	5.60ab*	3.98cd	6.40ab	4.26bc	6.40cd	4.31d	7.60abc	4.72cd
S+R	7.00ab	5.05bc	7.00a	4.79bc	7.60abc	6.02abc	8.60a	6.02bc
S+B	3.40c	2.49d	6.60ab	4.83bc	5.80d	4.38cd	6.00cd	3.97d
M+C	5.80ab	3.93cd	5.40bc	3.74c	6.80bcd	4.08d	6.20cd	3.56d
M+R	5.20bc	4.23cd	4.80c	3.46c	6.40cd	4.19d	5.80d	3.88d
M+B	7.40a	6.95a	6.20abc	4.58bc	8.20ab	5.03bcd	7.00abcd	4.02d
Cp+C	5.80ab	5.36abc	6.40ab	5.65ab	7.60abc	6.29ab	8.20ab	6.63ab
Cp+R	7.20a	6.23ab	6.40ab	7.12a	8.80a	7.33a	8.20ab	7.39a
Cp+B	7.20a	6.25ab	7.00a	6.79a	8.20ab	7.67a	6.80cd	5.45bc
SC	71.8	50.6	20.2	7.1	42.7	11.9	46.8	11.0

S, suelo; M, bagazo de maguey; Cp, cosmopeat; C, control; R, remojo agua; B, remojo Byiozime®TF; SC, aporte relativo (%) de la suma de cuadrados; E, emergencia; IVE, índice de velocidad de emergencia; *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

Para las variables de crecimiento, las interacciones donde se utilizó el sustrato comercial cosmopeat, independientemente de que se hayan o no utilizado tratamientos pregerminativos, presentaron los valores más altos (Cuadros 5 y 6), sin embargo, de acuerdo al aporte relativo de la suma de cuadrados, no hubo un buen sinergismo y el efecto significativo es atribuible al sustrato más que a la interacción.

Cuadro 5. Longitud de hoja y número de hojas desplegadas como respuesta a la interacción de diferentes sustratos y tratamientos pregerminativos en especies silvestres del género *Agave*.

Interacción	Sierrudo		Tobalá		Cuishe		Coyote	
	LH	NH	LH	NH	LH	NH	LH	NH
-----cm-----								
S+C	4.70a*	1.13c	2.48de	2.13abc	4.60cd	1.46bc	4.10cd	1.33cd
S+R	4.27abc	1.53abc	2.72cde	1.86cd	4.84bcd	1.20c	4.10cd	1.06d
S+B	3.68c	1.33bc	2.74cde	1.53d	4.02d	1.60abc	3.50d	1.20cd
M+C	4.60ab	1.13c	3.02e	2.00bcd	5.00bcd	1.40c	4.04cd	1.46
M+R	3.71c	1.46abc	3.10bcd	1.86cd	4.92bcd	1.93a	3.54d	1.26cd
M+B	3.80bc	1.33bc	2.32de	1.80cd	5.06bc	1.93a	4.12cd	1.66bc
Cp+C	4.08abc	1.73ab	3.42abc	2.40ab	6.22a	1.86ab	5.80a	2.00b
Cp+R	4.82a	1.80ab	3.98a	2.00bcd	5.85ab	2.00a	4.80bc	2.53a
Cp+B	4.73a	1.86a	3.68ab	2.53a	6.53a	1.93a	5.17ab	2.13ab
SC	63.5	5.0	6.6	30.6	11.1	27.5	29.0	13.3



S, suelo; M, bagazo de maguey; Cp, cosmopeat; C, control; R, remojo agua; B, remojo en Byiozime®TF; SC, aporte relativo (%) de la suma de cuadrados; LH, longitud de hoja; NH, número de hojas desplegadas; *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

Cuadro 6. Longitud de la hoja, diámetro de tallo y longitud de raíz como respuesta a la interacción de diferentes sustratos y tratamientos pregerminativos en especies silvestres del género *Agave*.

Factor	Sierrudo			Tobalá			Cuishe			Coyote		
	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR	LH	DT	LR
	-----cm-----											
S+C	3.76ab*	0.28a	2.56bc	2.36bc	0.34c	2.76b	3.80b	0.25cd	2.97c	2.84c	0.30d	2.56bc
S+R	3.14bc	0.27a	2.06c	2.24c	0.38bc	2.70b	3.53b	0.28bcd	3.02bc	3.32bc	0.32dc	2.06c
S+B	2.40c	0.28a	1.83c	2.08c	0.38bc	2.74b	3.38b	0.30abc	2.24c	2.98c	0.28d	1.83c
M+C	3.08bc	0.29a	3.33ab	1.90c	0.43b	3.47ab	3.78b	0.24d	2.75c	2.78c	0.27d	3.33ab
M+R	2.93c	0.32a	2.29bc	1.98c	0.34c	3.06b	3.95b	0.32ab	2.34c	2.82c	0.28d	2.29bc
M+B	3.14bc	0.28a	2.26bc	2.30c	0.37bc	3.09b	3.51b	0.26cd	2.35c	3.03c	0.30d	2.26bc
Cp+C	3.98a	0.28a	3.96a	3.15a	0.53a	3.88ab	5.82a	0.32ab	4.35a	4.42a	0.38bc	3.96a
Cp+R	4.06a	0.28a	4.30a	3.50a	0.42b	4.39a	5.54a	0.29abc	4.12ab	3.99ab	0.47a	4.30a
Cp+B	4.34a	0.29a	4.08a	3.00ab	0.42b	4.37a	5.15a	0.33a	4.28a	4.23a	0.43ab	4.08a
SC	26.9	62.0	7.0	7.0	6.6	7.8	3.3	41.8	4.6	9.2	30.3	7.2

S, suelo; M, bagazo de maguey; Cp, cosmopeat; C, control; R, remojo agua; B, remojo en Byiozime®TF; SC, aporte relativo (%) de la suma de cuadrados; LH, longitud de hoja; DT, diámetro de tallo; LR, longitud de raíz; *Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05).

CONCLUSIONES

La emergencia de plántulas de sierrudo y cuishe se favoreció con el uso del sustrato comercial cosmopeat, el mismo sustrato aceleró la emergencia y favoreció el crecimiento antes y dos meses después del transplante en las especies evaluadas. El remojo en Byiozime®TF aceleró la emergencia en sierrudo, cuishe y tobalá, el remojo en agua favoreció la emergencia en coyote. No hubo efecto significativo de los tratamientos pregerminativos en el crecimiento vegetal. Se obtuvo un sinergismo positivo para la interacción sustrato×tratamiento pregerminativo para las variables IVE y E en sierrudo y E en coyote.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, R., S. Charcas y J. L. Flores. 2001. El maguey mezcalero potosino. COPOCYT, UASLP. San Luis Potosí, México. 87 p.
- Chagoya, V. 2004. Diagnóstico de la Cadena Productiva del Sistema Producto Maguey-Mezcal. Sagarpa, Sedaf y Commac, Oaxaca México. pp. 56-59.
- Eguiarte, L. E., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. Boletín de la Sociedad Botánica de México 66: 131-150.
- Freeman, C. E., R. S. Tiffany and W. H. Reid. 1977. Germination responses of *Agave lechuguilla*, *A. parryi*, and *Fouquieriasplendens*. Southwestern Naturalist 22: 195–204.



- García-Mendoza, A. J. 2007. Los Agaves en México. *Ciencias* 87: 14-23.
- Hernández-Cruz, O. A., O. A. M. Rodríguez, E. B. Contreras and E. Santamaría. 2000. Evaluation of six pregerminative treatments of noa seeds (*Agave victoriae-reginae* T. Moore). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 1: 29-36.
- Jones, R. H. and R. R. Sharitz. 1989. Potential advantages and disadvantages of germinating early for trees in flood plain forests. *Oecologia* 81: 443-449.
- Kikusawa, K. and H. Koyama. 1999. Scaling soil water absorption by seeds: an experiment using seed analogues. *Seed Science Research* 9: 171-178.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- Peña-Valdivia, C. B., A. B. Sánchez-Urdaneta, J. R. Aguirre, C. Trejo, E. Cárdenas and A. Villegas. 2006. Temperature and mechanical scarification on seed germination of “maguey” (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology* 34: 47-56.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre, J. A. Reyes, A. B. Sánchez and S. V. Guadarrama. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican Agave species with an extensive history of human use. *Plant Species Biol* 27: 124-137.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia, C. Trejo and J. R. Aguirre. 2014. Seed germination of Agave species as influenced by substrate water potential. *Biological Research* 47: 11.
- Raven, P. H. y H. Curtis. 1975. *Biología vegetal*. Ed. Omega. España. 716 p.
- Sadeghian, S. Y. and N. Yavari. 2004. Effect of water-deficit stress on germination and early seedling growth in sugar beet. *Journal Agronomic Crop Science* 190: 138-144.
- Sánchez-Urdaneta, A. B. y C. B. Peña-Valdivia. 2002. Caracterización de la germinación de semillas de *Agave salmiana*. *Memorias del Congreso Nacional de Citogenética, Coahuila, México*. 382p.
- Sánchez-Urdaneta, A. B., I. Ortega, I. Cano, A. González, C. B. Peña-Valdivia, G. Rivero, G. Sthormes y D. Pacheco. 2011. Efecto de la escarificación de la semilla y del sustrato sobre el crecimiento de plántulas de *Agave salmiana*. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 1: 40-50.
- Sahagún-Castellanos, C. J., G. A. Martínez y J. E. Rodríguez. 2008. Problemas y métodos comunes de análisis de experimentos factoriales. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 213-222.
- Valenzuela-Zapata, A. G. and G. P. Nabhan. 2003. *Tequila: A Natural and Cultural History*. The University of Arizona Press, Tucson. 122 p.



NUEVOS REPORTES DE HONGOS MICORRÍCICOS ARBUSCULARES EN *Agave potatorum*, EN LA MIXTECA OAXAQUEÑA

[NEW REPORTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN *Agave potatorum*, IN THE OAXACAN MIXTECA]

José Luis Hernández-Morales^{1§}, Claudia López-Sánchez², Celerino Robles-Pérez³, Felipe de Jesús Palma-Cruz⁴

¹Estudiante de Posgrado, Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO), Oaxaca, Méx. ²Profesora-Investigadora. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO), Oaxaca, México. ³Profesor-Investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, México. ⁴Profesor-Investigador. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO). Oaxaca, México. (claudina1963@gmail.com, felipepalmacruz@gmail.com, crobles_38@yahoo.it). [§]Autor para correspondencia: (joseluishmorales@gmail.com).

RESUMEN

Las asociaciones micorrícicas arbusculares se encuentran distribuidas en diversos ecosistemas terrestres y están implicadas en el desarrollo de aproximadamente el 80% de las especies vegetales; el hongo se beneficia de los fotosintatos y la planta recibe nutrientes minerales del simbiote. El objetivo del trabajo fue identificar a nivel de especie a los Hongos Micorrícicos Arbusculares asociados con *Agave potatorum* en un ecosistema semiárido de la región Mixteca de Oaxaca. Las muestras se obtuvieron aleatoriamente en el municipio de San Juan Tamazola, Nochixtlán, Oaxaca (17° 09' N y 97° 13' W). Las esporas se aislaron por tamizado en húmedo y se conservaron en preparaciones permanentes. El género y especie se determinaron usando características morfológicas de las esporas. Los resultados se cotejaron con las descripciones originales en la página electrónica del International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Finalmente, se determinaron 11 morfotipos de Micorriza Arbuscular, de los cuales seis se describieron a nivel de especie: *Acaulospora rehmii*, *Rizophagus clarus*, *Septoglomus viscosum*, *Funneliformis macrocarpum*, *Gigaspora albida* y *Gigaspora margarita*; en tanto que los cinco restantes se quedaron como morfotipos del género *Glomus* con la especie aún sin definir. En la entidad solo un estudio reporta a *Acaulospora rehmii* en *Agave potatorum*.

Palabras clave: *Acaulospora rehmii*, *Glomus*, San Juan Tamazola.

ABSTRACT

The arbuscular mycorrhizal associations are distributed in diverse terrestrial ecosystems and are involved in the development of approximately 80% of the plant species; the fungus benefits from photosynthates and the plant receives mineral nutrients from the symbiont. The objective of the work was to identify at the species level the Arbuscular Mycorrhizal Fungi associated with *Agave potatorum* in a semi-arid ecosystem of the Mixteca region of Oaxaca. The samples were obtained randomly in the municipality of San Juan Tamazola, Nochixtlán, Oaxaca (17 ° 09 'N and 97 ° 13' W). The spores were isolated by wet sieving and preserved in permanent preparations. The genus and species were determined using morphological characteristics of the spores. The results were compared with the original descriptions in the electronic page of the International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Finally, 11 morphotypes of Arbuscular Mycorrhiza were determined, of which six were described at the species level: *Acaulospora rehmii*, *Rizophagus clarus*, *Septoglomus viscosum*, *Funneliformis macrocarpum*, *Gigaspora albida* and *Gigaspora margarita*; while the five remaining were left as morphotypes of the genus *Glomus* with the species still undefined. In the entity only one study reports *Acaulospora rehmii* in *Agave potatorum*.



W). The spores were isolated by wet sieving and kept in permanent preparations. The genus and species were determined using morphological characteristics of the spores. The results were compared with the original descriptions on the website of the International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Finally, 11 Arbuscular Mycorrhiza morphotypes were determined, of which six were described at the species level: *Acaulospora rehmii*, *Rizophagus clarus*, *Septoglomus viscosum*, *Funneliformis macrocarpum*, *Gigaspora albida* and *Gigaspora margarita*; while the remaining five remained as morphotypes of the genus *Glomus* with the species still undefined. In the entity, only one study reports *Acaulospora rehmii* in *Agave potatorum*.

Index words: *Acaulospora rehmii*, *Glomus*, San Juan Tamazola.

INTRODUCCIÓN

Según Brundrett (1991) las asociaciones micorrícicas se encuentran ampliamente distribuidas en los ecosistemas terrestres como: desiertos, dunas de arena, selvas tropicales, salinas, praderas, huertos y cultivos agrícolas. La asociación Micorrícica Arbuscular ha desempeñado un papel importante en los cultivos agrícolas al ofrecer un mayor incremento en la asimilación de nutrientes poco disponibles en el suelo, así como tolerancia frente al estrés biótico y abiótico. Los Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA), son microorganismos simbióticos de aproximadamente el 80% de las especies vegetales terrestres pertenecientes al Phylum Glomeromycota; ubicados en nueve familias y 18 géneros (Schüßler *et al.* 2001). Esta asociación simbiótica se remonta a hace 450 millones de años cuando las plantas primitivas empezaban a dominar el medio terrestre. El hongo por una parte se beneficia de los fotosintatos sintetizados por la planta huésped y ella recibe nutrientes minerales del simbionte (Redecker *et al.* 2000).

Carballar (2009) reporta que las esporas de estos hongos tienen una variación significativa de acuerdo a la especie vegetal con la que se encuentran asociados y a las características físico-químicas del suelo. Este autor encontró que la mayor diversidad de HMA en *Agave potatorum* se observa en el mes de enero. Sin embargo, esta variación aumenta de acuerdo al sitio y la fecha del muestreo. Otros factores poco estudiados que intervienen en la variación son: las interacciones de los HMA con hongos competidores que buscan infectar a las raíces del hospedero, bacterias, nematodos, la erosión, entre otros.

En México, la identificación morfológica de los HMA es la técnica convencional más usada. Si bien, la falta de claves taxonómicas para todas las especies de este grupo limita su identificación, las estructuras subcelulares de las esporas permiten su determinación hasta especie, mediante la consulta de las descripciones originales e ilustraciones que proporcionan las páginas electrónicas del International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) y del Department of Plant Pathology of the Agricultural University of Szczecin, Poland.



Bajo este contexto el objetivo del trabajo fue identificar a nivel de especie a los Hongos Micorrícicos Arbusculares asociados con *Agave potatorum* en un ecosistema semiárido de la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó en el municipio de San Juan Tamazola en las coordenadas 17° 09' de latitud norte y 97° 13' de longitud oeste, en el distrito de Nochixtlán, Oaxaca, México. Presenta un rango de temperatura promedio que oscila entre los 16 y los 22 °C. La precipitación anual es de 800–1,500 mm, predominando el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano en gran parte del territorio municipal (INEGI, 2014).

Se muestrearon aleatoriamente diez individuos jóvenes, de los cuales se obtuvieron submuestras de 500 gramos de suelo de la rizosfera de acuerdo con los puntos cardinales Norte y Sur a una profundidad de 20 cm. Las submuestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta que posteriormente se depositaron en bolsas de polietileno y se conservaron en refrigeración a 4°C hasta su análisis.

Para la extracción de esporas del suelo micorrizado, se utilizó la técnica de tamizado en húmedo y decantación. Una vez separadas las esporas del suelo se prepararon laminillas de acuerdo con la técnica propuesta por Schenck y Pérez (1990). Para la medición de las esporas, se empleó un microscopio compuesto con cámara integrada y barra micrométrica.

Con el fin de determinar la taxonomía de las especies se tomaron en cuenta características tales como el tamaño de la espora, la ornamentación de la hifa de sostén, el color presentando cuando se observaron con el microscopio estereoscópico, la forma de la espora y la coloración de las capas y las láminas de la espora al reaccionar con el reactivo de Melzer. Se consideraron las medidas que tuvieron mayor importancia durante el cotejo con las descripciones más recientes y detalladas de la página electrónica del INVAM (INVAM, 2015), estas medidas fueron de las capas y láminas de esporas aisladas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se aislaron 11 morfotipos de micorriza arbuscular del suelo rizosférico de *Agave potatorum* de los cuales seis se identificaron a nivel de especie que corresponden a las familias Glomeraceae, Gigasporaceae y Acaulosporaceae; en tanto que los cinco morfotipos restantes corresponden al género *Glomus* con las especies aún por definir. Sus descripciones detalladas aparecen a continuación incluyendo las micrografías correspondientes.

Familia Glomeraceae

Funneliformis macrocarpum (Tul. & C. Tul. 1845) C. Walker & A. Schüßler comb. nov. 2010. Se destaca por sus esporas redondo-ovoides de color ámbar a naranja, de 95 µm (figura 1-b);



formadas de manera individual o en esporocarpio laxo de 2 a 20 esporas (figuras 1-a y 1-b). Las esporas están constituidas por dos capas (C1 y C2 en la figura 1), las cuales se unen con la hifa de sostén (figura 1-d). La primera es una capa mucilaginosa de 0.5 μm de grosor que se desprende al madurar la espota (figura 1-c); la segunda es una capa rígida gruesa de 4.5 μm de espesor, que le confiere integridad a la espota y por hinchamiento de la misma se forma la oclusión (figura 1-d). Estas esporas son semejantes a las producidas por *Funneliformis geosporum* y *Funneliformis veruculosus*, se diferencian de estas por poseer solo dos capas mientras que las últimas constan de tres. La determinación de esta especie se cotejó con el depósito de especies del Department of Plant Pathology of the Agricultural University of Szczecin (DPPAUS, 2016).

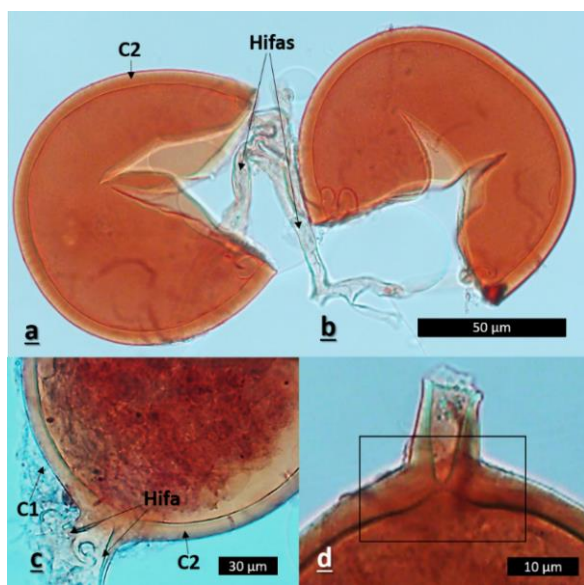


Figura 1. Detalles de las esporas de *Funneliformis macrocarpum*.

Rhizophagus clarus (T.H. Nicolson & N.C. Schenck. 1979) C. Walker & A. Schüssler comb. nov. 2010. Produce esporas redondo-ovoides de color amarillo claro, de 110 μm de diámetro (Figura 2-b), formadas en esporas individuales o en grupos. Sus esporas están constituidas por tres capas (Figura 2-c y d; C1, C2 y C3), mismas que se unen con la hifa de sostén; la primera capa (C1) es mucilaginosa de 1 μm de espesor y se tiñe con el reactivo de Melzer, ésta se desprende con el desarrollo de la espota, por lo cual se observa principalmente en esporas jóvenes. La segunda capa (C2) es una capa gruesa laminada de 5 μm de color amarillo claro, la tercera (C3) es una capa delgada hialina, que constan de dos láminas de 0.5 μm de espesor. Su determinación se comparó con la descripción de Nicolson y Schenck (1979) y en la página electrónica del INVAM (INVAM, 2016).

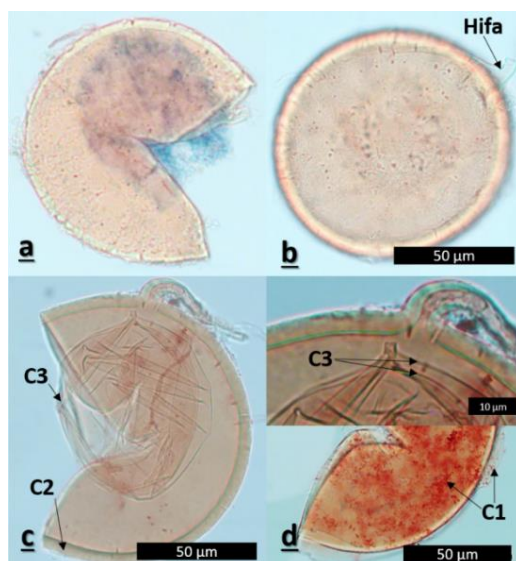


Figura 2. Detalles de las esporas de *Rhizophagus clarus*.

Septoglo mus viscosum (T.H. Nicolson 1995) C. Walker, D. Redecker, D. Stille & A. Schüssler comb. Nov 2010. Se destaca por poseer esporas redondo-ovoides de color blanco o color paja, de 48 µm (figuras 3-a y 3-b), formadas en grupos laxos. Las esporas cuentan con tres capas (figuras 3-c y 3-d), las cuales se unen con la hifa de sostén; la primera de las capas (C1) es viscosa de 2 µm, en tanto que la segunda de las capas (C2) es rígida de 0.7 µm de grosor, en contraste con la tercera capa (C3) que es hialina y flexible.

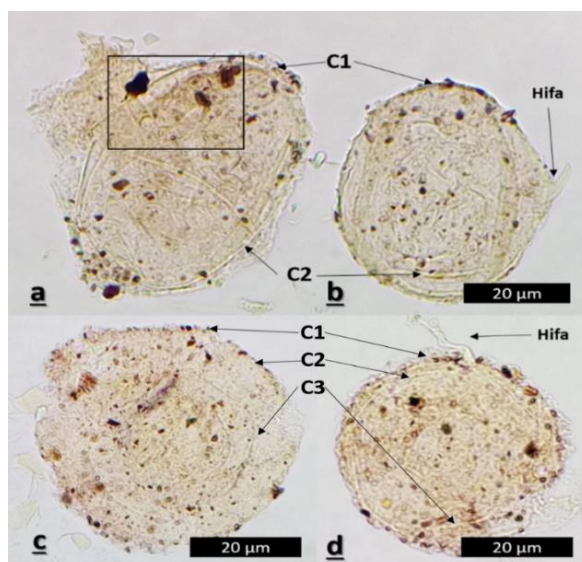


Figura 3. Detalles de las esporas de *Septoglo mus viscosum*.



La primera de las capas (figura 3-a) tiene un aspecto opaco por la presencia de materia orgánica y otros desechos orgánicos y minerales. En estas esporas no se observa el punto de oclusión, lo cual también se menciona en otros reportes sobre esta especie. Las paredes de las esporas no reaccionan con el reactivo de Melzer. Las características que aquí se reportan coinciden con las de Walker *et al.* (1995).

Familia Gigasporaceae

Gigaspora albida (N.C. Schenck & G.S. Sm. 1982) C. Walker & A. Schüßler comb. nov. 2010. Produce esporas redondo-ovoides de color blanco a crema (figura 4-a) de 255 μm . Están formadas por tres capas (figura 4-c). La primera capa (C1) es unitaria y hialina de 1.9 μm , ocasionalmente se desprende de las esporas maduras; la segunda capa (C2) es laminada de 7.5 μm que le da integridad a la espora y se tiñe de color naranja-rojizo con el reactivo de Melzer. La tercera capa (C3) es la de germinación y consta de tres láminas (L1, L2 y L3 en la figura 4), L1 es una lámina hialina de 1 μm de grosor, no reacciona con el reactivo de Melzer. L2 es una capa hialina de 1.3 μm que se tiñe con el reactivo de Melzer y se conecta con la hifa de sostén; consta de tres sub-láminas que se encuentran fuertemente unidas, la primera de ellas es hialina y solo las dos siguientes reaccionan con el reactivo de Melzer. Finalmente, L3 es la pared de germinación (PG en la figura 4-d) que mide 1.5 μm y se considera como una capa verrugosa.

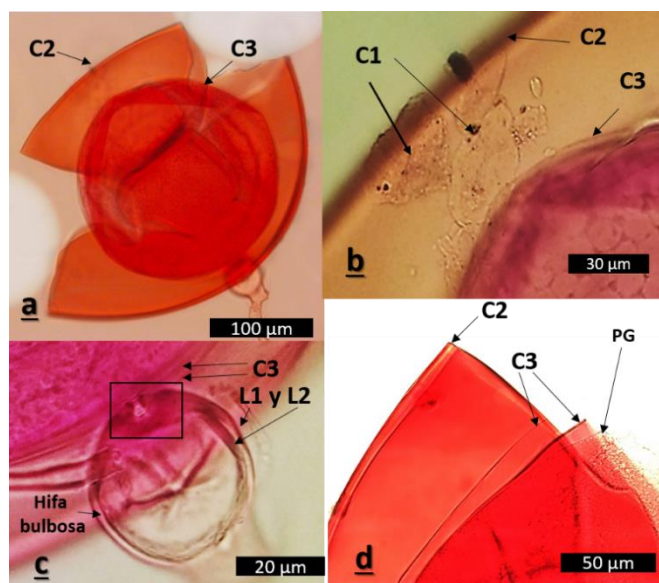


Figura 4. Detalles de las esporas de *Gigaspora albida*.

La hifa de sostén, bulboso-curvada de 40 μm de diámetro (figura 4-c) se conecta con la segunda sub-lámina de C3, esta hifa bulbosa consta de dos capas C1 de 2 μm y C2 ≤ 0.8 μm que se observa en la figura 4-c. Las características morfo métricas de esta especie se compararon con



las descripciones de Nicolson y Schenck (1979), Khade (2011) y el depósito de especies del Department of Plant Pathology of the Agricultural University of Szczecin (DPPAUS, 2016).

Gigaspora margarita (W.N. Becker & I.R. Hall. 1976) C. Walker & A. Schüßler comb. nov. 2010. Posee esporas globosas a subglobosas de color blanco-cremoso a hialinas de 284 μm ; la hifa de sostén es bulbosa curvada (figura 5-c). Presenta tres capas (C1, C2, C3 en la figura 5-d), la capa C1 es laminada de 3 μm de espesor, el número de láminas puede variar de 2 a 4 (figura 5-b) dependiendo de la edad de la espora, ya que al llegar a la madurez se van desintegrando las láminas más externas; la segunda capa (C2) también es laminada y rígida, es la capa más gruesa de 11 μm de grosor, la cual le proporciona color a la espora y no reacciona con el reactivo de Melzer. La tercera capa (C3) es más compleja que las anteriores, consta de tres láminas principales (L1, L2 y L3) de $\leq 0.3 \mu\text{m}$ y solo pueden observarse en detalle cuando se presionan fuertemente a las esporas y logran separarse todas las láminas que la componen (figuras 5-b y 5-d); la última lámina corresponde a la pared de germinación (PG) y reacciona con el reactivo de Melzer.

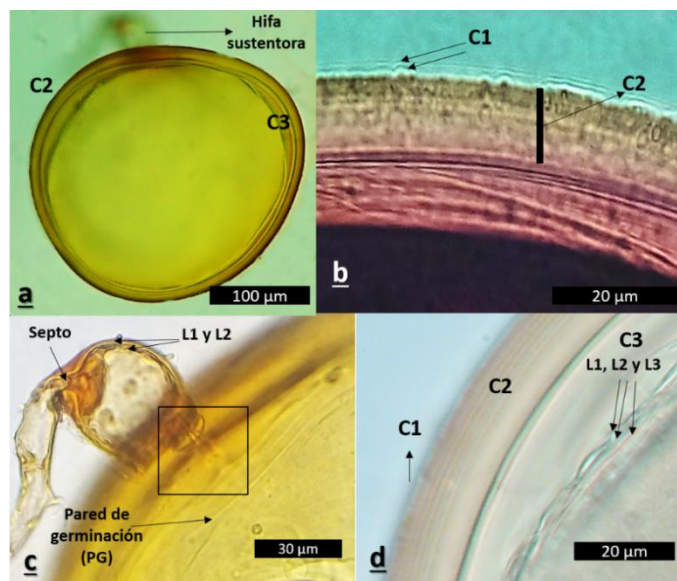


Figura 2. Detalles de las esporas de *Gigaspora margarita*.

La hifa bulbosa mide 40 x 50 μm , consta de dos capas; la primera es una capa unitaria del mismo color que la capa más gruesa de la espora mientras que la segunda es laminada y semiflexible de 1.5 y 0.7 μm respectivamente. Los detalles de esta especie se compararon con las descripciones de Becker y Hall (1976), Błaszczowski *et al.* (2006), Kade (2011) y con el depósito de especies del Department of Plant Pathology of the Agricultural University of Szczecin (DPPAUS, 2016).

Familia Acaulosporaceae



Acaulospora rehmii (Sieverd. & S. Toro. 1987) C. Walker & A. Schüßler comb. nov. 2010. Produce esporas globosas a subglobosas de color amarillo-marrón de 110 μm , constan de tres capas (figuras 6-a y 6-b). La primera capa (C1) es hialina de 0.9 μm y se encuentra principalmente en esporas jóvenes, está ausente o solo se presenta una parte de ella en las esporas maduras. La capa dos (C2) está formada por láminas fuertemente unidas, mide 2.3 μm de grosor, presenta una ornamentación que consta de depresiones de 0.8 μm y laberintos irregulares de 0.3 a 0.8 μm . La tercera de las capas (C3) es unitaria, semiflexible y hialina (figura 6-d), mide ≤ 0.4 μm de espesor y se desprende cuando las esporas son fuertemente oprimidas; cuenta con dos paredes de germinación (PG1 y PG2): la pared PG1 mide 0.3 μm de grosor, consta de dos láminas hialinas; mientras que PG2 mide 1.2 μm de espesor. La lámina dos reacciona con el reactivo de Melzer (figura 6-d).

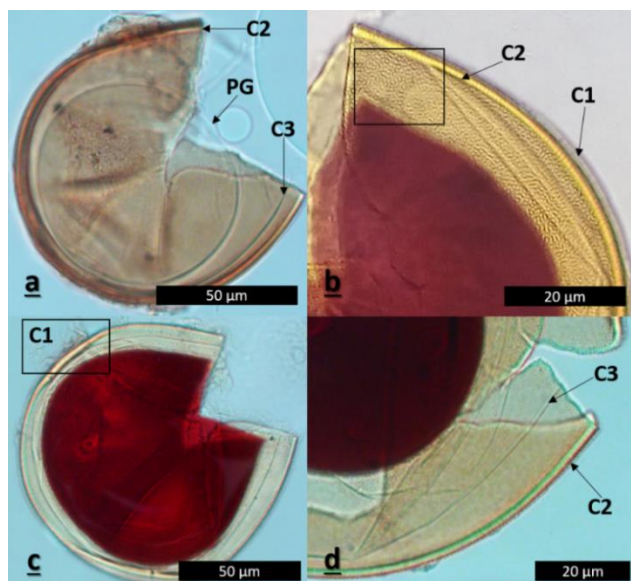


Figura 6. Detalles de las esporas del HMA de *Acaulospora rehmii*.

La morfometría de esta especie se comparó con los reportes de Blaszkowski *et al.* (2006), Dalpé y Declerck (2002), la página electrónica del INVAM (INVAM, 2016) y el depósito de especies del Department of Plant Pathology of the Agricultural University of Szczecin (DPPAUS, 2016).

Familia Glomeraceae

Fue la más abundante de las familias de micorriza arbuscular encontradas, destacándose los cinco morfotipos del género ***Glomus*** (Tul. & C. Tul. 1845) C. Walker & A. Schüßler comb. nov. 2010, que aún permanecen con la especie por definir. Estos morfotipos se presentan en la figura 7. Su determinación taxonómica requiere de trabajo más detallado.

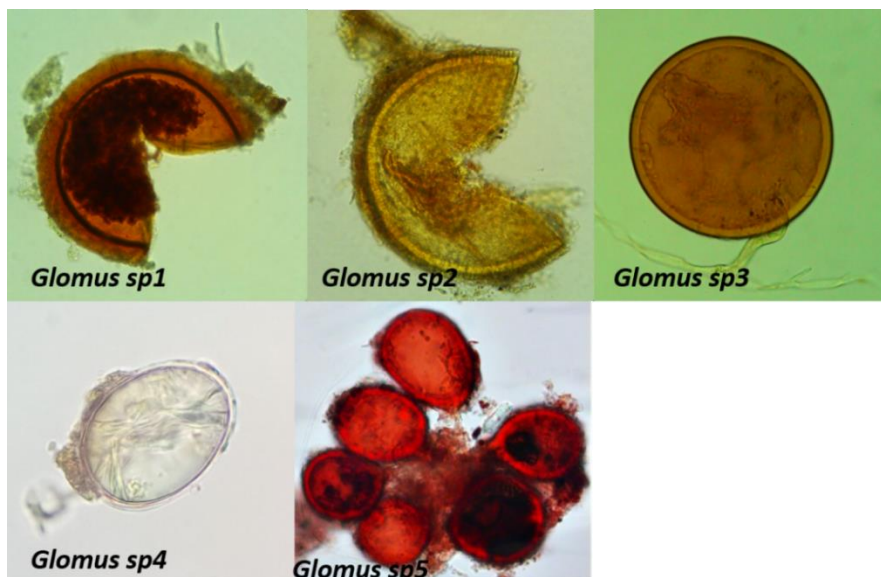


Figura 7. Morfotipos del género *Glomus*.

De los estudios sobre hongos micorrízicos arbusculares en *Agave potatorum* reportados para Oaxaca, Carballar (2009) identificó 20 especies de HMA en el distrito de Tlacolula mientras que Bautista (2012) encontró cinco especies en el municipio de San Lucas Quiaviní, Tlacolula. Por su parte, Hernández-Morales *et al.* (2014) reportaron para la mixteca nueve morfoespecies ubicados en los géneros *Glomus* y *Gigaspora*.

En resumen, de los 25 morfotipos identificados a nivel de especies en *Agave potatorum* por los autores antes mencionados, *Acaulopora rehmi* fue la única especie de HMA reportada anteriormente por Carballar (2009); esto de alguna manera sugiere una gran diversidad de especies de HMA en esta especie de *Agave*.

CONCLUSIONES

Se aislaron 11 morfotipos de la rizosfera de *Agave potatorum*, de las cuales la familia Glomeraceae fue la más diversa con ocho morfotipos, seguida con dos morfotipos de la familia Gigasporaceae y finalmente con un morfotipo la familia Acaulosporaceae. De la familia Glomeraceae se identificaron tres morfotipos a nivel de especie; *Rizophagus clarus*, *Septoglomus viscosum*, *Funneliformis macrocarpum*, mientras que los otros cinco morfotipos se colocaron en el género *Glomus*. De la familia Gigasporaceae se identificaron los dos morfotipos como *Gigaspora albida* y *Gigaspora margarita*. El morfotipo de la familia Acaulospora se identificó como *Acaulopora rehmi*. La carencia de claves taxonómicas para la identificación de los HMA específicos ha limitado la determinación de la totalidad de las especies. La caracterización



morfológica en algunos casos no proporciona toda la información necesaria para la determinación taxonómica de las especies por lo que, la caracterización molecular sería la herramienta complementaria más adecuada para el mejor estudio de las micorrizas arbusculares. Las especies identificadas en este estudio pueden tener diversas aplicaciones en cultivos de *Agave* y en la producción agrícola, cultivos de importancia en el estado de Oaxaca.

LITERATURA CITADA

- Bautista, M. Y. 2012. Efectividad de hongos micorrícicos arbusculares aislados de la rizosfera de *Agave potatorum* Zucc., en el crecimiento de *Carica papaya* L. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México. 44 p.
- Becker, W. N. and I. R. Hall. 1976. *Gigaspora margarita*, a new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 4(1): 155-160.
- Błaszczowski, J., S. Kowalczyk and B. Czerniawska. 2006. *Acaulospora rehmii* and *Gigaspora margarita*, arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) new for Europe and Poland, respectively. *Acta Mycologica* 41(1): 41-48.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research*. 21: 171-313.
- Carballar, H. S. 2009. Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrícico en especies silvestres de *Agave* en Oaxaca. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Investigación Para el Desarrollo Regional-I.P.N. Unidad-Oaxaca. México. 26 p.
- Dalpé, Y. and S. Declerck. 2002. Development of *Acaulospora rehmii* spore and hyphal swellings under root-organ culture. *Mycologia* 94(5): 850-855
- DPPAUS. 2016. The occurrence, distribution, and taxonomy of arbuscular mycorrhizal fungi. Department of Plant Pathology of the Agricultural. University of Szczecin. Poland. (Consultado: 08/12/2017). Disponible en: <http://www.zor.zut.edu.pl/Mycota/Department%20of%20Plant%20Pathology.html>
- Hernández-Morales, J. L., C. López-Sánchez and F. J. Palma-Cruz. 2014. Caracterización morfológica de micorriza arbuscular asociada a *Agave potatorum* Zucc. con potencial de uso agronómico. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 1(2): 82-93
- INEGI. 2014. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Juan Tamazola, Oaxaca. Clave geoestadística 2017. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. México. (Consultado: 08/12/2017). Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/2017.pdf
- INVAM. 2015. Classification of Glomeromycota. International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi. West Virginia University. (Consultado: 08/12/2017). Disponible en: <http://fungi.invam.wvu.edu/the-fungi/classification.html>
- Khade, S. W. 2011. New characteristics for morphotaxonomy of *Gigaspora* species belonging to arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Plant Develop.* 18: 71-80.
- Nicolson, T. H. and Schenck, N. C. 1979. Endogonaceous mycorrhizal endophytes en Florida. *Mycologia* 71(1): 178-189.



- Redecker, D., J. B. Morton and T. D. Bruns. 2000. Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 14: 276-284.
- Schenck, N.C. and Y. Pérez. 1990. Manual for the identification of mycorrhizal fungi. Synergistic Publications, Gainesville. U.S.A.
- Schüßler, A., D. Schwarzott and C. Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological research*. 105(12): 1413-1421.
- Walker, C., M. Giovannetti, L. Avio, A. S. Citernesi and T. H. Nicolson. 1995. A new fungal species forming arbuscular mycorrhizas: *Glomus viscosum*. *Mycological Research* 99: 1500-1506.



EFFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y PROCEDENCIA DE SEMILLAS DE *Agave potatorum* Zucc. EN LA GERMINACIÓN Y VIABILIDAD

[EFFECT OF THE STORAGE TIME AND ORIGIN OF *Agave potatorum* Zucc. SEEDS IN GERMINATION AND VIABILITY]

**Lucia Armin Langlé Argüello¹, German Fernando Gutiérrez-Hernández², Gabino Alberto Martínez-
Gutiérrez^{1§}**

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán. C. P. 71230. Oaxaca, Oaxaca, México. ²Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n. C. P. 07340. La Laguna Ticomán. Ciudad de México, México. (luciarminl@hotmail.com, enredipn@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: (gamartinezg@ipn.mx).

RESUMEN

El *Agave potatorum* Zucc es una especie silvestre utilizada en Oaxaca para la elaboración del mezcal “tobalá” y que depende exclusivamente de sus semillas para reproducirse y propagarse, siendo importante conocer la biología de su germinación para su conservación y aprovechamiento. El objetivo del presente trabajo fue realizar la caracterización física y biológica de semillas de *A. potatorum* colectadas en tres regiones del estado de Oaxaca (Sierra sur, Mixteca alta y Valles Centrales) y con seis, doce y veinticuatro meses de almacenamiento. Se condujeron tres experimentos independientes; caracterización física de las semillas, viabilidad por medio de la prueba de tetrazolio y determinación del porcentaje de germinación. La colecta de Valles Centrales, presentó las semillas más largas (7.83 mm), anchas (5.60 mm) y pesadas (1.10 g) y viabilidad mayor al 85 % con seis y doce meses de almacenamiento, las semillas colectadas en la Sierra Sur sin importar su tamaño con 24 meses de almacenamiento solo presentaron 4 % de viabilidad. Las semillas de *A. potatorum* disminuyeron su viabilidad y germinación en un periodo de 24 meses, por lo que pueden considerarse como no ortodoxas.

Palabras clave: Prueba de tetrazolio, semilla recalcitrante, tobalá, maguey.

ABSTRACT

The *Agave potatorum* Zucc is a wild species that in Oaxaca is used for the elaboration of mezcal “tobalá”. It depends exclusively on its seeds to reproduce and propagate; therefore, it is important to know the biology of its germination for its conservation and use. The objective of the present work was to carry out the physical and biological characterization of seeds of *A. potatorum* collected in three regions of the state of Oaxaca (Sierra Sur, Mixteca Alta and Valles Centrales) with six, twelve and twenty-four months of storage. Three independent experiments were conducted; physical characterization of the seeds; viability, using the tetrazolium test; and determination of the percentage of germination. The Valles Centrales collection obtained the longest (7.83 mm), widest (5.60 mm), and heaviest (1.10 g) seeds with a viability greater than



85%, with six and twelve months of storage. Regardless its size, the seeds with 24 months of storage collected in the Sierra Sur showed only 4% of viability. The seeds of *A. potatorum* decreased their viability and germination in a period of 24 months; hence, they can be considered as unorthodox.

Index words: Tetrazolium test, recalcitrant seed, tobala, maguey.

INTRODUCCIÓN

Los *Agaves* son plantas nativas de América adaptadas a climas áridos y semiáridos y se encuentran distribuidos en todo el territorio mexicano (García-Mendoza, 2007). Por su diversidad de usos, los pueblos prehispánicos los consideraban plantas sagradas, y en la actualidad siguen teniendo importancia para la obtención de destilados de alcohol, fibras, mieles, materiales de construcción y como barreras vivas para la prevención y control de la erosión edáfica (García-Herrera *et al.*, 2010).

En México existen alrededor de 150 especies de *Agave* (García-Mendoza, 2007) de las cuales sólo *Agave tequilana* Weber y *Agave angustifolia* Haw. se cultivan de forma extensiva principalmente en los estados de Jalisco y Oaxaca para la producción de tequila y mezcal, respectivamente. En los últimos cinco años, la industria tequilera ha recurrido a la compra de “piñas” de *A. angustifolia* provenientes de plantaciones de Oaxaca debido a la alta demanda mundial del tequila, lo que ha provocado escasez de materia prima para la elaboración del mezcal. Esto ha ocasionado que en Oaxaca, los destiladores artesanales de mezcal principalmente de las zonas serranas, utilicen diversas especies silvestres de *Agave*, las cuales son recolectadas de lugares montañosos provocando erosión, deforestación y pérdida de la biodiversidad.

Entre éstas especies silvestres se encuentra el *Agave potatorum* Zucc., conocido regionalmente como tobalá o papalomé, el cual crece principalmente en bosques mixtos de *Pinus-Quercus* y selvas bajas caducifolias de las regiones Mixteca, Sierra Sur y Valles Centrales de Oaxaca. De ésta especie se obtiene el mezcal ‘tobalá’, apreciado por su elevada proporción de compuestos aromáticos volátiles, alta calidad y propiedades organolépticas que son características inherentes a su especie (Molina-Guerrero *et al.*, 2006; Vera-Guzmán *et al.*, 2010).

La reproducción natural de *A. potatorum* se realiza únicamente por semilla (García-Mendoza, 2010; Vera-Guzmán *et al.*, 2009), siendo indispensable que las plantas emitan su escapo floral para la formación de inflorescencias y posteriormente semillas. Sin embargo, justo antes de la emisión del escapo floral, el tallo o piña alcanza su mayor tamaño y contenido de azúcares, coincidiendo con el momento óptimo de corte para su procesamiento, lo que repercute en una fuerte disminución de las semillas, pérdida de variabilidad genética y en la eventual extinción local de la especie (Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

En la actualidad, diversas comunidades productoras de mezcal “tobala” se han preocupado por la conservación de éste recurso natural, ya que cada vez es más difícil encontrar y recolectar estas



plantas en su ambiente natural (Rangel-Landa *et al.*, 2015). Por lo que se requiere generar conocimiento básico que permita desarrollar tecnologías para su aprovechamiento, propagación y establecimiento agroforestal. La viabilidad de las semillas es una medición de la actividad metabólica de sus tejidos vivos e indirectamente estima el potencial germinativo del lote de semillas de interés (Copeland y McDonald, 2012), para evaluar la calidad biológica de las semillas debe realizarse también la prueba de germinación normal (ISTA, 2015), en la cual las semillas se incuban en condiciones favorables para que se reactive el crecimiento del embrión y se genere una planta completa (Pérez-García y Pita-Villamil, 2001; Vadillo *et al.*, 2004).

Las semillas se consideran ortodoxas si tienen viabilidad durante lapsos de tiempo prolongados (años), o bien, recalcitrantes o no ortodoxas si la pierden rápidamente (días o meses). El periodo de vida de las semillas está en función del genotipo, condiciones de producción, cosecha, almacenamiento, entre otros (Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2011). La mayoría de las especies con semillas recalcitrantes son endémicas de los trópicos o subtrópicos húmedos, aunque también se han identificado algunas de clima templado o desértico (Berjak y Pammenter, 2008). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la caracterización física, viabilidad y germinación de semillas de *Agave potatorum* Zucc. con distintos tiempos de almacenamiento y sitios de colecta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de colecta

Se colectaron semillas de *Agave potatorum* Zucc. en los años 2013, 2014 y 2015 en: Villa Sola de Vega, San Pedro y San Pablo Teposcolula e Infiernillo San Francisco, poblaciones que corresponden a las regiones: Sierra Sur, Mixteca Alta y Valles Centrales de Oaxaca respectivamente (Figura 1), que son las regiones en donde García-Mendoza (2010) e Illsley *et al.* (2005) indican que aún se tienen poblaciones silvestres de *A. potatorum*.

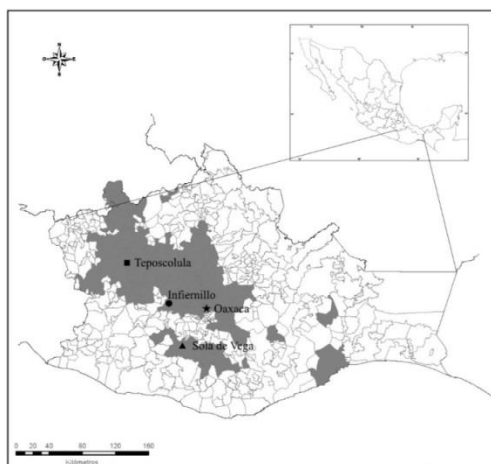


Figura 1. Sitios de colecta y procedencia de semillas *A. potatorum* Zucc.



La caracterización climática se hizo con datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2017) y para el caso de Valles Centrales de Oaxaca, se obtuvo de la estación más cercana y representativa del lugar que es la de Villa de Zaachila (Cuadro 1).

Los tratamientos para los tres experimentos fueron la combinación de tres lugares de procedencia y tres años de colecta o almacenamiento de las semillas (Cuadro 2). Se colectó la inflorescencia madura de *A. potatorum* por región y año y se separaron todas las capsulas, las cuales se secaron en la sombra durante cinco días, para triturarlas y extraer las semillas manualmente y ser introducidas en bolsas de papel y almacenadas en cuarto oscuro a temperatura ambiente (25 ± 5 °C) hasta el momento de la realización de los análisis.

Cuadro 1. Lugares de procedencia de las semillas de *A. potatorum* y descripción climática.

	San Pedro y San Pablo Teposcolula	Villa Sola de Vega	Infiernillo San Francisco*
Región	Mixteca	Sierra Sur	Valles Centrales
Temperatura máxima (°C)	24.2	29.9	29.3
Temperatura media (°C)	15.6	20.9	20.6
Temperatura mínima (°C)	7.0	11.8	11.8
Precipitación anual (mm)	625.2	850.2	709.0
Altitud (msnm)	2312	1409	2323
Tipo de vegetación	Selva baja caducifolia	Bosque mixto de pino-encino	Selva baja caducifolia y bosque de pino

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx>). *Datos de la estación más cercana, perteneciente a Villa de Zaachila.

Cuadro 2. Tiempos de almacenamiento y regiones de procedencia de semillas de *A. potatorum*.

Factores de estudio	Regiones de Oaxaca colectadas			
	Mixteca	Sierra Sur	Valles Centrales	
Años colectados	2014	2013	2014	2015
Tiempo de almacenamiento (meses)	12	24	12	6
Código ¹	TEP14	SV13	INF14	INF15

¹: código asignado para su estudio

En el Laboratorio de Biotecnología Molecular de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), se hicieron tres experimentos: Caracterización física de las semillas, evaluación de viabilidad y de la germinación.

Caracterización física de las semillas



Los tratamientos del primer experimento se condujeron en diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de 100 semillas a las cuales se les determinó la longitud, anchura y grosor en mm con un vernier digital (Mitutoyo® CD-6" CSX) y el peso en gramos de 100 semillas con una balanza analítica (Sartorius® AX).

Viabilidad de semillas

La viabilidad de las semillas, también se condujo en diseño experimental completamente al azar con 25 semillas por tratamiento y tres repeticiones, mediante la prueba de tinción con 2, 3-5 trifetil tetrazolio. Las semillas fueron remojadas por 24 h en agua destilada, posteriormente se les hizo un corte longitudinal con un escalpelo para exponer el embrión, se depositaron en cajas Petri y añadieron 10 mL de la solución de tetrazolio 1 % (p/v) y se incubaron a 25 ± 2 °C (Mediatech MTAC26) durante 12 h en oscuridad (Ramírez-Tobías *et al.*, 2016). Posteriormente, con un microscopio estereoscópico (Celestron Labs S10-60), se evaluó la tinción de las semillas para determinar su viabilidad. Semillas con coloración intensa en el 100 % del eje embrional se consideraron viables, semillas con poca o nula intensidad de coloración, o sin embrión fueron consideradas no viables. La viabilidad expresada en porcentaje se estimó mediante la fórmula indica por Ramírez-Tobías *et al.* (2016).

$$\text{Viabilidad (\%)} = \frac{\text{Número de semillas teñidas}}{\text{Número total de semillas}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Germinación de semillas

Se utilizó la prueba de germinación “entre toallas de papel” (ISTA, 2015), en donde las semillas se colocaron en toallas de papel absorbente humedecidas con agua destilada y se introdujeron en bolsas de plástico para evitar la deshidratación. Las bolsas se colocaron en una cámara de germinación (Mediatech® MTAC26) a 25 ± 2 °C con un fotoperiodo de 24 h de luz durante 15 días. Se consideraron germinadas las semillas con al menos 3 mm de protrusión radicular. Una vez germinadas las primeras semillas, lo cual ocurrió 4 días después de la siembra (dds), cada 24 h se contaron las semillas germinadas y se midió la longitud total de plántula (mm) con un vernier digital (Mitutoyo® CD-6" CSX) durante 15 días consecutivos hasta que la germinación se estabilizó (Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2011).

Al cabo de los 15 días, se extrajeron las plántulas y se les determinó el peso seco (g) de plúmula, radícula y total de plántula, para esto último, se utilizó una estufa (RIOSSA H-102) para secar las estructuras de las plántulas durante 72 h a 65 °C, y se pesaron en una balanza analítica (Sartorius® AX). En este experimento los tratamientos se condujeron en diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones de 25 semillas.

Análisis estadístico

Las variables expresadas en porcentaje se transformaron mediante la expresión arcoseno ($\sqrt{\%}$) (Sosa-Luría *et al.*, 2012) previo al análisis de varianza. La comparación de medias se realizó



mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), además se hizo un análisis de correlación de Pearson ($P \leq 0.05$) entre peso, viabilidad y germinación de semilla, así como longitud y peso seco de plántula. Todos los análisis estadísticos se hicieron con el paquete Statgraphics® Centurion XVI.II (StatPoint Technologies, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física de las semillas

En el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre colectas para las variables largo, ancho, grosor y peso de semilla de *A. potatorum* (Cuadro 3). Las semillas provenientes de la colecta INF15 fueron las más largas (7.83 mm), anchas (5.60 mm) y pesadas (1.10 g). Así mismo, las semillas con menor longitud (7.00 mm), anchura (4.79 mm), grosor (0.46 mm) y peso (0.70 g) pertenecieron a la colecta TEP14. Garrido *et al.* (2005) mencionan que el tamaño de la semilla tiene una gran variación entre poblaciones, años y especialmente entre plantas individuales, también mencionan que semillas más grandes otorgan a las plántulas más ventajas para su germinación, establecimiento y supervivencia en comparación con las semillas pequeñas, hecho reportado frecuentemente en la literatura (Fenner, 2000; Kuniyal *et al.*, 2013; Vázquez-Díaz *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Características físicas de las semillas de *A. potatorum* con diferentes tiempos de almacenamiento y procedencias.

Colecta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Peso (g)*
SV13	7.69 b	4.94 c	0.56 a	0.88 b
TEP14	7.00 d	4.79 d	0.46 c	0.70 c
INF14	7.26 c	5.32 b	0.50 b	0.87 b
INF15	7.83 a	5.60 a	0.56 a	1.10 a
DSH 0.05	0.14	0.10	0.02	0.11

En columnas, medias con misma letra son significativamente iguales ($P \leq 0.05$). DSH = Diferencia significativa honesta ($P \leq 0.05$). TEP14: Teposcolula y 12 meses de almacenamiento, SV13: Sierra sur y 24 meses de almacenamiento, INF14: Valles centrales y 12 meses de almacenamiento, INF15: Valles centrales y 6 meses de almacenamiento. *: De 100 semillas.

Viabilidad de semillas

De acuerdo a Jurado-Guerra *et al.* (2009), el cloruro de tetrazolio es reducido por las enzimas deshidrogenasas presentes en el tejido vivo produciendo un compuesto rojizo. En la Figura 2 se muestran cortes longitudinales realizados a semillas de *A. potatorum* teñidas con solución de tetrazolio. Las semillas en donde hubo tinción intensa en embrión viables con alto vigor (Figura 2a y 2b). En la Figura 2c se muestra una semilla no viable ya que la coloración en embrión es



nula. Se encontraron así mismo, algunas semillas carentes de embrión como la observada en la Figura 2d.

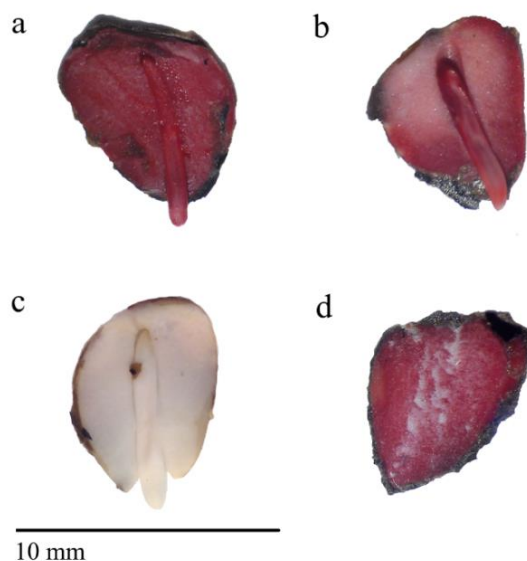


Figura 2. Tinción del cloruro de tetrazolio en semillas de *Agave potatorum* Zucc. Semillas viables: a y b; semilla inviable: c; semilla sin embrión: d.

Hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la viabilidad de las semillas entre las cuatro colectas y tiempos de almacenamiento (Figura 3). La mayor viabilidad se presentó en las semillas con seis meses de almacenamiento (INF15) con un 85 %, así como las semillas de 12 meses (TEP14 e INF14) con 77 y 66 %, respectivamente. Sin embargo, la viabilidad disminuyó a 4 % en las semillas de 24 meses (SV13), esto puede ser un indicador de que al paso del tiempo, las semillas de *A. potatorum* pierden viabilidad cuando son almacenadas bajo las condiciones ambientales similares a las de éste experimento (Moreno-Martínez *et al.*, 2000). Debido a esto y de acuerdo a Berjak y Pammenter (2008) es posible clasificarlas como semillas no ortodoxas, aunque son necesarios más estudios en éste aspecto.

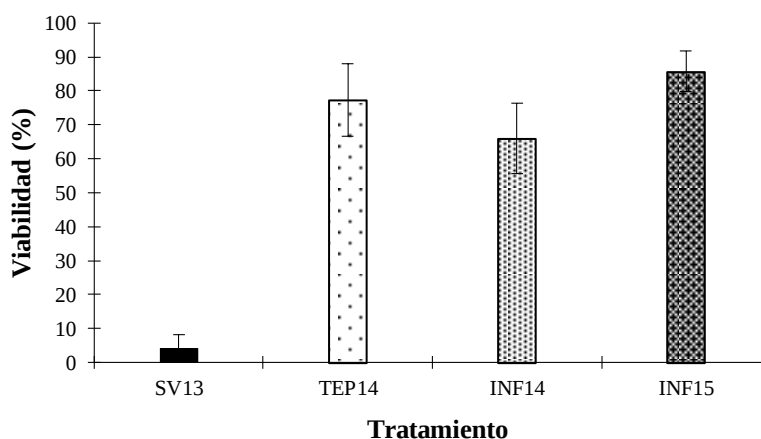


Figura 3. Viabilidad (%) de semillas de *A. potatorum* provenientes de diferentes años y sitios de colecta. TEP14: Teposcolula y 12 meses de almacenamiento, SV13: Sierra sur y 24 meses de almacenamiento, INF14: Valles centrales y 12 meses de almacenamiento, INF15: Valles centrales y 6 meses de almacenamiento.

Germinación de semillas

Todas las colectas iniciaron su germinación (protrusión radicular) a partir del cuarto día después de la siembra y la germinación se estabilizó en el noveno día (Figura 4). Ramírez-Tobías *et al.* (2016) y Peña-Valdivia *et al.* (2006) encontraron que bajo una temperatura constante de 25 °C, el inicio de la germinación en *A. tequilana*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* ocurre entre el quinto y sexto días después de la siembra, por lo que el inicio de la germinación de semillas de *A. potatorum* se encuentra dentro del rango de otras especies de Agave.

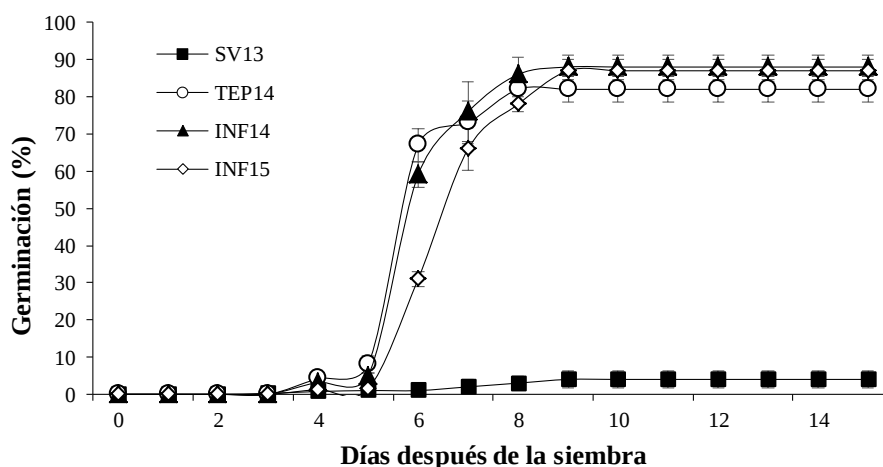


Figura 4. Porcentaje de germinación acumulada en condiciones controladas (25 °C, fotoperiodo de 24 h luz) de semillas de *A. potatorum*. TEP14: Teposcolula y 12 meses de almacenamiento, SV13: Sierra sur y 24 meses de almacenamiento, INF14: Valles centrales y 12 meses de almacenamiento, INF15: Valles centrales y 6 meses de almacenamiento.



Se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de germinación al sexto día después de la siembra, donde las semillas de las colectas TEP14 e INF14 fueron más precoces a las de INF15 (Figura 5). Esto puede deberse al menor tamaño de la semilla (Cuadro 1) como reportaron Vázquez-Díaz *et al.* (2011) en pruebas de germinación realizadas en *A. salmiana*, en donde la variante 'Blanco' con las semillas de menor tamaño fueron las más precoces en emerger en comparación a las otras variantes de la misma especie.

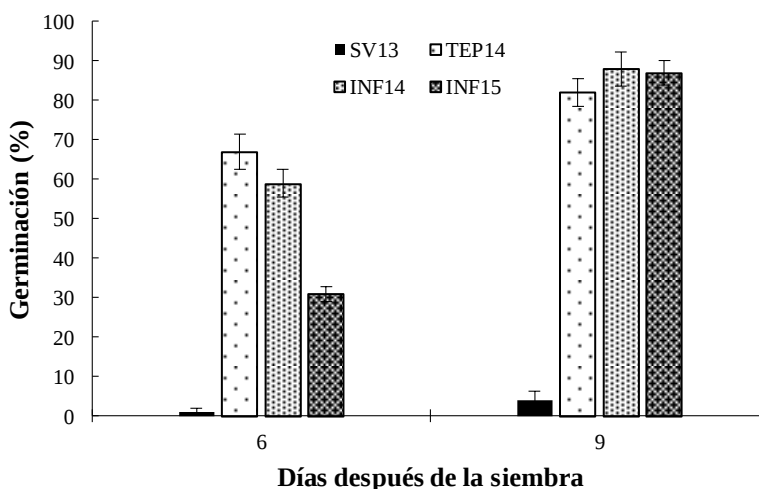


Figura 5. Porcentaje de germinación de semillas de *A. potatorum* provenientes de cuatro colectas a los seis y nueve días después de la siembra. TEP14: Teposcolula y 12 meses de almacenamiento, SV13: Sierra sur y 24 meses de almacenamiento, INF14: Valles centrales y 12 meses de almacenamiento, INF15: Valles centrales y 6 meses de almacenamiento.

El valor más alto de germinación se obtuvo 9 días después de la siembra (Figuras 4 y 5), momento en que las semillas de la colecta INF14 obtuvieron 88 %, seguidas de INF15 con 87 % y TEP14 con 82 % sin que hubiera diferencias significativas entre ellas ($P \leq 0.05$). Así mismo, la colecta SV13 obtuvo la menor germinación (4 %), encontrando una correlación significativa y positiva ($r = 0.90^*$, $P < 0.05$) entre la germinación y la viabilidad de las semillas de dicha colecta (Cuadro 5).

Peso y longitud de plántulas

No hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en peso seco de radícula (Cuadro 4), aunque en peso seco de plúmula, plántula y longitud total de plántula si se encontraron diferencias, destacando la colecta INF15 con semillas de 6 meses de edad, que presentó el mayor peso seco en plúmula y plántula (0.09 g y 0.11 g, respectivamente), así como en conjunto con TEP14, mostró la mayor longitud total de plántula. Debido a la baja cantidad de semillas germinadas de la colecta SV13, no se analizó en éstas variables.



Cuadro 4. Longitud total de plántula, peso seco de radícula, plúmula y total de plántulas de *A. potatorum* provenientes de semillas colectadas en años y localidades diferentes.

Colecta	Peso Seco (mg)			Longitud de plántula (mm)
	Radícula	Plúmula	Plántula	
SV13	-	-	-	-
TEP14	11.6 a	67.8 b	79.4 ab	41.9 a
INF14	7.3 a	48.5 b	55.8 b	32.5 b
INF15	17.2 a	90.3 a	107.5 a	43.4 a
DSH 0.05	10.3	21.1	28.9	2.02

Medias con misma letra dentro de columnas son significativamente iguales (Tukey, 0.05). DSH: diferencia significativa honesta ($\alpha = 0.05$). TEP14: Teposcolula y 12 meses de almacenamiento, SV13: Sierra sur y 24 meses de almacenamiento, INF14: Valles centrales y 12 meses de almacenamiento, INF15: Valles centrales y 6 meses de almacenamiento.

La manifestación fuerte del envejecimiento de las semillas es la disminución en la velocidad de su germinación, seguida por un decremento en el tamaño de la plántula (Marcos, 2015) y esto último es lo que se observa con las plántulas provenientes de semillas con 12 meses de edad (INF14 y TEP14) en comparación con las de seis meses (INF15), las cuales desarrollaron plántulas más grandes y con mayor cantidad de materia seca.

Se encontró una alta correlación positiva y significativa ($r = 0.80^*$, $P < 0.05$) entre la longitud y el peso seco de plántula (Cuadro 5). Sin embargo, el peso de la semilla no tuvo correlación significativa con las variables de viabilidad y germinación, por lo que el peso de las semillas tuvo poca influencia en la viabilidad y capacidad de germinación de las mismas. Por otro lado, se encontró una correlación significativa alta entre la viabilidad y la germinación de las semillas con la longitud de la plántula ($r = 0.85$ y 0.92 , respectivamente) y con el peso seco de plántula ($r = 0.90$ y 0.84 , respectivamente), lo que sugiere que las semillas que presentan un mayor porcentaje de viabilidad y germinación, desarrollan plántulas más vigorosas.

Cuadro 5. Matriz de correlaciones (r) entre las variables: peso, viabilidad y germinación de semillas, crecimiento de plántulas y acumulación de materia seca en *A. potatorum*.

	Peso de semillas	Viabilidad	Germinación	Longitud de plántula
Viabilidad	0.1429 (0.5975)	-		
Germinación	0.0513 (0.8502)	0.9027* (0.0000)	-	
Longitud de plántula	-0.0731 (0.7879)	0.8497* (0.0000)	0.9208* (0.0000)	-
Peso seco de plántula	0.3290 (0.2133)	0.9075* (0.0000)	0.8442* (0.0000)	0.8065* (0.0002)



* La correlación es significativa ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

Las semillas de menor tamaño y peso fueron más precoces al emerger en su mayor parte al sexto día, mientras que las semillas grandes y pesadas emergieron al noveno día. Las semillas con un menor tiempo de almacenamiento (seis y doce meses) presentaron la mayor viabilidad, porcentaje de germinación y cantidad de materia seca en plúmula y plántula. Se encontró una alta correlación ($r = 0.90$) entre viabilidad y germinación de las semillas, sin embargo, el peso de las mismas tuvo una baja correlación ($r = 0.14$ y $r = 0.05$, respectivamente) con dichas variables. Las semillas de *A. potatorum* presentaron un comportamiento de semillas no ortodoxas a los 24 meses de almacenamiento a temperatura ambiente al tener una viabilidad y capacidad de germinación nulas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Estela Flores Gómez del Laboratorio de Biotecnología Molecular y al alumno Ángel Ernesto Mata Navarro por su apoyo durante la estancia de la autora principal en la UPIBI-IPN, así mismo, se agradece a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por la financiación del proyecto SIP 20160437.

LITERATURA CITADA

- Berjak, P. and N. W. Pammenter. 2008. From *Avicennia* to *Zizania*: Seed Recalcitrance in Perspective. *Annals of Botany* 101(2): 213-228.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2012. *Principles of Seed Science and Technology*. 4 ed. Ed. Springer Science & Business Media, US. 467 p.
- Delgado-Lemus, A., A. Casas and O. Téllez. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 10(1): 1-22.
- Fenner, M. 2000. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. 2 ed. Ed. CABI Publishing, Wallingford, Oxon UK. 410 p.
- García-Herrera, E. J., S. d. J. Méndez-Gallegos y D. Talavera-Magaña. 2010. El genero *Agave spp.* en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición* 5: 109-129.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *Ciencias* 87: 14-23.
- García-Mendoza, A. J. 2010. Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta botánica mexicana* 91: 71-93.
- Garrido, J. L., C. M. Herrera y P. J. Rey. 2005. Fuentes de variación en el tamaño de la semilla de la herbácea perenne *Helleborus foetidus* L. (Ranunculaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 62(2): 115-125.
- Gutiérrez-Hernández, G. F., J. M. Vázquez-Ramos, E. García-Ramírez, M. O. Franco-Hernández, J. L. Arellano-Vázquez y D. Durán-Hernández. 2011. Efecto del envejecimiento artificial de



- semillas de maíces criollos azules en su germinación y huella genómica. Revista fitotecnia mexicana 34: 77-84.
- Illsey, G. C., A. T. Gómez, M. G. Rivera, M. M. del P. Morales, B. J. García, S. A. Ojeda, R. M. Calzada y S. N. Mancilla 2005. Conservación in situ y manejo campesino de magueyes mezcaleros. Grupo de Estudios Ambientales AC. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. V028. México D. F.
- International Rules for Seed Testing (ISTA). 2015. International Rules for Seed Testing. Zurich, Switzerland International Seed Testing Association.
- Jurado-Guerra, P., A. Melgoza-Castillo, C. R. Morales-Nieto, M. Royo-Márquez y C. Ortega-Ochoa. 2009. Propagación de algunas plantas nativas de los agostaderos de Chihuahua. Folleto Tecnico Num. 23. Ed. INIFAP. México, DF. 30 p.
- Kuniyal, C. P., V. Purohit, J. S. Butola and R. C. Sundriyal. 2013. Seed size correlates seedling emergence in *Terminalia bellerica*. South African Journal of Botany 87: 92-94.
- Marcos, F. J. 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. Scientia Agricola 72: 363-374.
- Molina-Guerrero, J. A., J. E. Botello-Álvarez, A. Estrada-Baltazar, J. L. Navarrete-Bolaños, H. Jiménez-Islas, M. Cárdenas-Manríquez y R. Rico-Martínez. 2007. Compuestos volátiles en el mezcal. Revista Mexicana de Ingeniería Química 6(1): 41-50.
- Moreno-Martínez, E., M. E. Vázquez-Badillo y F. Facio-Parra. 2000. La temperatura en relación con la longevidad de semillas de maíz almacenadas con baja humedad. Agrociencia 34: 175-180.
- Peña-Valdivia, C., A. Sánchez-Urdaneta, R. Aguirre, C. Trejo, E. Cárdenas and M. Villegas. 2006. Temperature and mechanical scarification on seed germination of maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). Seed Science and Technology 34(1): 47-56.
- Pérez G. F. y V. J. M. Pita. 2001. Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Hojas divulgadoras Num. 2112 HD. Universidad Politécnica de Madrid, España. 16 p.
- Ramírez, T. H. M., V. R. Niño, R. J. R. Aguirre, J. Flores, V. J. A. De-Nova and G. R. Jarquin. 2016. Seed viability and effect of temperature on germination of *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* and *A. mapisaga*; two useful *Agave* species. Genetic Resources and Crop Evolution 63(5): 881-888.
- Rangel-Landa, S., A. Casas and P. Dávila. 2015. Facilitation of *Agave potatorum*: An ecological approach for assisted population recovery. Forest Ecology and Management 347: 57-74.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2017. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. (Consultado: 01/09/2017). Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx>.
- Sosa-Luría, D., J. L. Chávez-Servia, D. Mondragón-Chaparro, J. A. Estrada-Gómez y P. Ramírez-Vallejo. 2012. Viabilidad y germinación de semillas de seis especies de *Tillandsia* (bromeliaceae) de Oaxaca, México. Revista Fitotecnia Mexicana 35: 37-42.
- Vadillo, G., M. Suni y A. Cano. 2004. Viabilidad y germinación de semillas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). Revista Peruana de Biología 11(1): 71-78.
- Vázquez-Díaz, E., J. R. García-Nava, C. B. Peña-Valdivia, H. M. Ramírez-Tobías y V. Morales-Ramos. 2011. Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). Revista Fitotecnia Mexicana 34(3): 167-173.



- Vera-Guzmán, A. M., P. A. Santiago-García y M. G. López. 2009. Compuestos volátiles aromáticos generados durante la elaboración de mezcal de *Agave angustifolia* y *Agave potatorum*. Revista Fitotecnia Mexicana 32(4): 273-279.
- Vera-Guzmán, A. M., R. I. Guzmán-Gerónimo and M. G. López. 2010. Major and minor compounds in a Mexican spirit, young Mezcal coming from two *Agave* species. Czech Journal of Food Sciences 28: 127-132.



**COLECTA E ÍNDICES DE PATOGENICIDAD DE NEMATODOS Y HONGOS
ENTOMOPATÓGENOS NATIVOS EN EL PICUDO DE AGAVE (*Scyphophorus*
acupunctatus Gyllenhal) EN OAXACA, MÉXICO**

**[COLLECTION AND PATHOGENICITY INDEXES OF NEMATODES AND FUNGI
NATIVE ENTOMOPATOGENS IN THE AGAVE WEEVIL (*Scyphophorus acupunctatus*
Gyllenhal) IN OAXACA, MEXICO]**

**Teodulfo Aquino Bolaños[§], Gualdemar Reyes Cortés, Mariana Valdez Ham, David Martínez Sánchez,
Verónica Gallegos Martínez,**

Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-OAXACA). Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230, Oaxaca, México. Teléfono: (951) 5170610 Ext. 82725. (wreyes@ipn.mx, mvaldezh@ipn.mx, damartinezs@ipn.mx, vmartinezg@ipn.mx). [§]Autor para correspondencia: (taquino@ipn.com.mx)

RESUMEN

Actualmente, la planta de agave mezcalero ha aumentado su valor comercial en Oaxaca, México. Cabe señalar que la producción está limitada por la incidencia de enfermedades y plagas, siendo el picudo de agave (*Scyphophorus acupunctatus*) la mayor plaga de este cultivo. El mayor esfuerzo para el combate de *este insecto* se enfoca en el control químico. El objetivo de este trabajo fue probar alternativas de manejo a base de organismos biológicos nativos hongos y nematodos entomopatógenos. Se muestrearon adultos de *S. acupunctatus* en tres zonas productoras de Agave (Tlacolula, Ocotlán y Miahuatlán) de los Valles Centrales de Oaxaca. Se determinaron los índices de patogenicidad en entomopatógenos presentes en adultos de *S. acupunctatus* en plantas dañadas de Agave sp. El Índice Global de Parasitismo (IGP) para este estudio fue de 4.81 % de un total de 2160 insectos muestreados. En la zona de Tlacolula se encontraron 237 insectos con presencia de entomopatógenos (11%), en la zona de Ocotlán 60.4 insectos positivos siendo un 2.8%. Del total de adultos colectadas se determinó un 8.7% con presencia de nematodos y 5.1% con presencia de hongos. Se encontró un coleóptero del género *Hololepta* semejante a *Hololepta yucateca* depredando larvas de *S. acupunctatus* que puede ser otra alternativa de manejo de *S. acupunctatus*.

Palabras Clave: *Metarhizium*, mezcal, plagas del agave, *Steinernema*.

ABSTRACT

Actually, the plant of agave mezcalero has increased his commercial value in Oaxaca, Mexico, it is necessary to indicate that the production is limited by the incident of diseases and pests being the pointed one of agave (*Scyphophorus acupunctatus*) is the major plague of this culture. The major effort for the combat of this insect focuses towards the chemical control. The aim of this work was to test alternatives of managing looked based on biological native organisms like fungi



and entomopathogenic nematodes. Adults were sampled of *S. acupunctatus* in three Agave's producing zones (Tlacolula, Ocotlán and Miahuatlán) in the Central Valleys of Oaxaca. There decided that the indexes of pathogenicity in entomopathogenic present in adults of *S. acupunctatus* in damaged plants of *Agave* sp. The Global Index of Parasitism (IGP) for this study was 4.81 % of a total of 2160 sampled insects, in Tlacolula's zone they found 237 insects with presence of entomopathogenic (11 %), Ocotlán's zone with 60.4 positive insects being one 2.8 %. Of the total of adults collected one determined 8.7 % with presence of nematodes and 5.1 % with presence of fungi. There was the coleopterous one of the kind *Hololepta* similar to *Hololepta yucateca* pillaging larvae of *S. acupunctatus* that can be another alternative of managing of *S. acupunctatus*.

Index words: *Metarhizum*, mezcal, pests of the agave, *Steinernema*.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el agave mezcalero ha aumentado su valor comercial en Oaxaca, México debido al crecimiento de las exportaciones de mezcales y la gran demanda de materia prima por parte de empresarios de Jalisco para la elaboración de tequila (Arredondo y Espinosa, 2005). Cabe señalar que la producción de mezcal está limitada por factores tecnológicos y socioeconómicos, así como por la incidencia de enfermedades y plagas en el agave; ejemplo de estas últimas es el caso de *S. acupunctatus* (Bravo, 2003).

Según la Norma Oficial Mexicana (NOM-070-SCFI-1994) publicada en el Diario Oficial de la Federación (1994), en el Estado de Oaxaca existe una zona denominada “Región del mezcal” y en esta norma se detallan las características y especificaciones en la obtención de mezcal, la cual queda restringida a los Estados de Guerrero, Oaxaca, Durango, San Luís Potosí y Zacatecas. Lo anterior, denota la importancia del mezcal en el estado de Oaxaca; así como a nivel nacional.

En Oaxaca se cultivan alrededor de 15 503 ha de *Agave* spp. La mayoría de ellas se localiza en las regiones principales de los Valles Centrales (Tlacolula, Zimatlán, Ejutla, y Ocotlán) y en Sierra Sur, (Yautepec, Miahuatlán y Sola de Vega) con un total de 256 comunidades (ICAPET, 1999). En Oaxaca, el agave mezcalero de mayor importancia es el denominado espadín (*Agave angustifolia* Haw), el cual cubre una superficie de 12 000 ha (ICAPET, 1999), distribuidas en 200 localidades (SEDAF, 2000).

El picudo de agave (*S. acupunctatus*) (Coleoptera: Curculionidae) es la principal plaga de agave pulquero (*Agave atrovirens* Kart), agave tequilero (*Agave tequilana* Weber) y agave mezcalero (*Agave angustifolia* Haw) (Halffter, 1957). La producción de plantas de Agave mezcalero se ve afectada drásticamente por el ataque de *S. acupunctatus*. Bravo (2003), reporta pérdidas que van desde 1.4 al 26 %, mientras que Aquino *et al.* (2005) reportan daños que van desde 14.4 al 46.4 % en los Valles Centrales de Oaxaca.



El mayor esfuerzo para el combate de *S. acupunctatus* se enfoca hacia el control agroquímico de tipo sistémico, el cual deja residuos en productos agrícolas, genera contaminación ambiental, resistencia de plagas e intoxicación al productor (Albert, 1988). El control biológico es una alternativa potencial para el combate de este insecto, especialmente el control microbiano por los hábitos de desarrollo del mismo, pues tanto larvas como adultos son susceptibles a la infección por microorganismos como hongos y nematodos entomopatógenos, factibles de ser utilizados en este tipo de manejo (Aquino, 2003). El objetivo de este estudio fue aislar, determinar el Índice de Parasitismo Global e identificar los entomopatógenos obtenidos en adultos de *S. acupunctatus* colectados de plantas de agave.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislados entomopatógenos de *Scyphophorus acupunctatus*

Para determinar la presencia de nematodos y hongos entomopatógenos, en adultos de *S. acupunctatus* se realizaron muestreos en tres zonas productoras de Agave (Tlacolula, Ocotlán y Miahuatlán) de los Valles Centrales de Oaxaca. Los muestreos se realizaron por intervalos de 15 días por zona de estudio en plantas maduras de agave; se colectaron por muestreo en el campo 30 insectos adultos, en cuyo comportamiento podían visualizarse anomalías ocasionadas por el ataque de entomopatógenos (Ruíz, 2003). Se tomaron 24 muestras por zona de estudio, para un total de 72 muestras colectadas en las tres zonas. En total se colectaron 2160 insectos para determinar la presencia de entomopatógenos. Los insectos se colocaron en botes de plástico transparente de 500 mL de capacidad; la boca del mismo se cubrió con una malla fina y una banda elástica. En estos recipientes permanecieron los insectos por espacio de 30 días para poder determinar la emergencia de entomopatógenos (Ruíz, 2003). A estos insectos se les alimento con hojas de agave maduro de la especie *A. angustifolia* que se colecto en campos.

Con el objetivo de determinar la presencia de entomopatógenos, las muestras positivas se llevaron al laboratorio de entomología del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR Oaxaca. Los insectos se colocaron en cámaras húmedas o trampas White (Kaya, 1985) y se dejaron incubar por 10 días en una estufa de cultivo a una temperatura de 24 °C. A estos insectos se les realizaron pruebas de necropsia, verificando en su interior la existencia de los agentes entomopatógenos, además de realizar los postulados de Koch (Brock, 2003). El Índice de Parasitismo Global (IPG) (Vázquez, 2003) se calculó como:

$$IPG = \left(ISP + IEP + \frac{IIP}{TIE} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

donde IPG = Índice de parasitismo, ISP = Individuos con síntomas de parasitismo (cambio de coloración), IEP = Individuos de los cuales han emergido entomopatógenos, IIP = Individuos que presentan larvas con entomopatógenos o sus restos y TIE = Total de individuos muestreados.



Predadores de *Scyphophorus acupunctatus*

Para determinar la presencia de predadores en larvas de *S. acupunctatus* se observaron en plena acción de depredación de huevos o en su caso larvas presentes en plantas maduras de agave, los depredadores se llevaron al laboratorio y con ayuda de un microscopio estereoscopio las muestras se observaron utilizando un lente de aumento de 10x. En caso positivo se auxiliaron de claves y se identificaron hasta el taxa posible para cada caso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislados entomopatógenos de *Scyphophorus acupunctatus*

Los resultados obtenidos en los muestreos realizados en adultos de *S. acupunctatus*, indican que la zona que presentó el mayor porcentaje de muestras positivas con entomopatógenos fue Tlacolula con 11 %, mientras que en Ocotlán se observó 2.8 % de muestras positivas con entomopatógenos. En la zona de Miahuatlán no se encontraron muestras positivas.

Del total de adultos colectadas se determinó un 8.7 % con presencia de nematodos y un 5.1% con presencia de hongos entomopatógenos (Figura 1). Estos resultados pueden catalogarse como muy buenos, cuando se comparan con los aislados realizados por autores en la Rioja (Campos-Herrera *et al.*, 2006) y Ethiopia (Mekete *et al.*, 2005) quienes hallaron nematodos entomopatógenos en aproximadamente el 6% del total de las muestras analizadas.

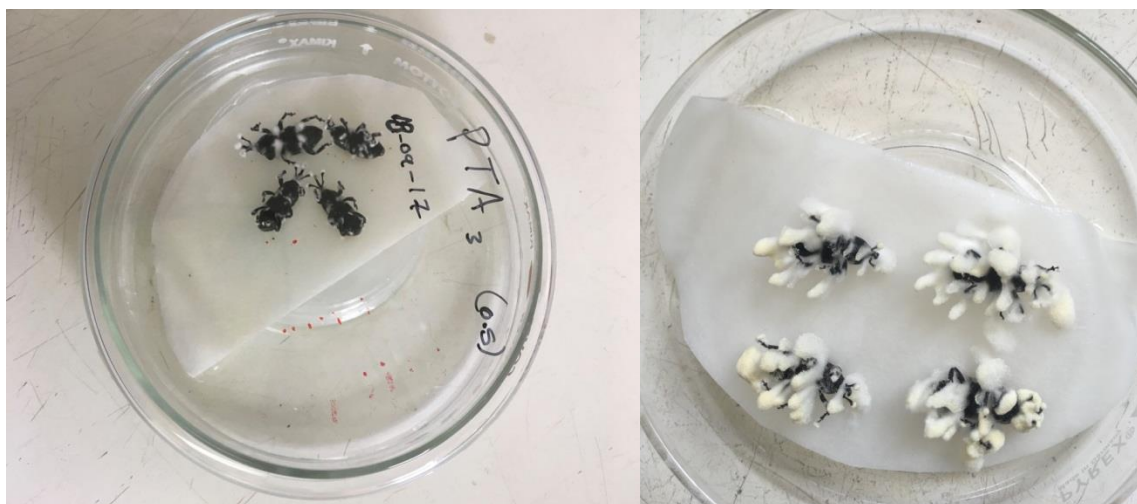


Figura 1. Adultos de *S. acupunctatus* con presencia de agentes entomopatógenos luego de realizados los postulados de Koch.

Castilla-Gutiérrez *et al.* (2010) en la localidad Quintín Bandera del noreste de la Provincia de Villas Clara, Cuba encontró un 4.1 %, de muestras positivas por *Heterorhabditis* sp., lo que evidencia lo significativo del resultado alcanzado en nuestros experimentos con nematodos



entomopatógenos. Por vez primera se aporta el índice global de parasitismo (IPG) con un valor de 4.81 y actualmente no existen datos comparativos, siendo este estudio el primero en hacer referencia a los IPG en *S. acupunctatus* en Oaxaca, México.

Los resultados observados en nuestro estudio no se asemejan a los reportados por Ruíz (2003), además de que en dicho estudio se realizaron colectas y evaluaciones de nematodos entomopatógenos para el control de *Phyllophaga* spp. Sus porcentajes por región fueron de 0 a 8.9 %. En ambos estudios, en zonas más cálidas y secas, no se obtuvieron muestras positivas de entomopatógenos.

Predadores de *Scyphophorus acupunctatus*

En los muestreos realizados y cortes a la base de las hojas dónde se encuentran las larvas y adultos de *S. acupunctatus* se encontró un coleóptero depredando a las larvas de esta especie perteneciente a la familia Histeridae y que pertenece al género *Hololepta* sp. (Figura 2) cuya especie aún no se identificó pero que es muy semejante a *Hololepta yucateca* y *Hololepta cuadridentata*.



Figura 2. Adulto de *Hololepta* sp. (Coleoptera; Histeridae), depredador de larvas de *S. acupunctatus* colectado en plantas de *Agave angustifolia* Haw en Oaxaca, México.

Estos resultados coinciden con los expuestos por Pérez (1980), quien reportó a *Hololepta yucateca* como depredador de larvas de *S. acupunctatus* y con Siller (1985), quien lo refiere como varias especies de este género. Este mismo depredador se reporta en Falcón Venezuela citado por Velázquez *et al.* (2006).

Lock (1969) documenta un depredador conocido como *Placodes ebeninus* Lewis, que se alimenta de larvas, y reporta que el mismo juega un papel importante en África Oriental para mantener bajas poblaciones de *S. acupunctatus* pero que por sí solo no es eficiente. Lo cual obliga a la búsqueda de otros organismos y estrategias para complementar el control biológico, y una opción viable pudiera encontrarse en los entomopatógenos.



CONCLUSIONES

La zona que presentó el mayor porcentaje de muestras positivas de hongos y nematodos entomopatógenos fue Tlacolula con 11 %, en Ocotlán se observó 2.8 % y en la zona de Miahuatlán no hubo muestra positivas, con respecto al total de insectos colectados. Del 13.8% de muestras positivas con entomopatógenos, el 8.7% correspondió a nematodos y el 5.1% a hongos.

LITERATURA CITADA

- Albert, L. 1998. Contaminación de los alimentos por productos químicos. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Naturales Bióticos, México, p. 32.
- Aquino, B. T. 2003. Manejo Integrado de Gallina Ciega (*Phyllophaga* spp.) en maíz de temporal. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, Oaxaca, México.
- Aquino, B. T., V. J. Ruíz y C. M. Iparraguirre. 2005. Manejo Integrado de (*Scyphophorus interstitialis*) con nematodos y hongos entomopatógenos, en agave mezcalero. Jornadas Politécnicas de Investigación CIIDIR-OAXACA. 49 p.
- Arredondo, V. C. y P. H. Espinosa. 2005. Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza. Manual del Maguéyero. Consejo Oaxaqueño del Maguey y del Mezcal, A. C. Oaxaca, México, p. 20-28.
- Bravo, M. E. 2003. Sugerencias para el Manejo Integrado del Picudo del Maguey Mezcalero (*Scyphophorus interstitialis* Gyllenhal). INIFAP. Folleto. No 4. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca, p. 10-15.
- Castilla-Gutiérrez, O., J. M. Álvarez-Medero, M. Largo-Medero, M. Cárdenas-Morales, R. Valdés-Herrera y E. Pozo-Velázquez. 2010. Aislados de Nematodos entomopatógenos de la región costera norte de villa Clara (Quintín Bandera). Centro Agrícola 37(4):87-90.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM 070-SCFI 1994. Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Tomo DXXV. No 9 México, D. F. p. 30-39.
- Halffter, G. 1957. Plagas que afectan a las distintas especies de Agave cultivadas en México. Dirección General de Defensa Agrícola. SAG. México, D. F. p. 17-27.
- ICAPET. 1999. Primer censo de la industria del mezcal. Gobierno del Estado de Oaxaca, México, p. 40-53.
- Kaya, H. K. 1985. Entomogenous nematodes for insect control in IPM systems. In: M. A. Hoy and D. C. Herzog (eds.). Biological Control in Agricultural IPM System. Academic Press, New York. p. 283-302
- Lock, G. W. 1969. Sisal: Thirty years sisal' research in Tanzania. 2^a. ed. Longmans. United Kingdom, 365 pp.
- Mekete, T., R. Gaugler, K. B. Nguyen, W. Mandefro and M. Tessera. 2005. Biogeography of entomopathogenic nematodes in Ethiopia. Nematropica 35:31-36.
- Pérez, S. P. 1980. Principales plagas fitosanitarias del maguey pulquero (*Agave atrovirens* Karw) en la mesa central de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 72 pp.
- Brock, T. D. 2003. Biology of Microorganisms, 10^a. ed. Madigan, M. T., Martinko, J. M., Parker, J., (eds.). Prentice Hall International. Inglaterra. 1011 p.



- Ruíz, M. C. 2003. Comunicación Química de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). Tesis Doctoral. Colegio de Posgraduados. Estado de México, México. 108 pp.
- Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Forestal (SEDAF). 2000. Municipios y Productores de maguey en la “Región del mezcal” Gobierno del Estado de Oaxaca, 8 pp.
- Siller, J. M. G. 1985. Ciclo Biológico del picudo del maguey *Scyphophorus acupunctatus* Gyll. (Coleoptera: Curculionidae) y algunas consideraciones sobre su impacto económico. Tesis de Licenciatura, UNAM. México, D. F. 91 pp.
- Vázquez, M. L. 2003. Manejo integrado de plagas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). Ciudad de la Habana, Cuba. p. 220-229.
- Velázquez, J., L. J. Joly, J. L. García, Y. Romero, M. González y M. Medina. 2006. Enemigos naturales del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) en el estado Falcón, Venezuela. Entomotropica 21(3): 185-193.



¿FUNCIONA EL TRAMPEO MASIVO PARA LA REDUCCIÓN DE POBLACIONES DE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal EN MAGUEY ESPADÍN?

[IS MASS TRAPPING STRATEGY AN OPTION FOR DECREASING POPULATION DENSITIES OF *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal IN ESPADÍN MAGUEY?]

Pedro Figueroa-Castro¹, Julio C. Rojas^{2§}, Víctor López-Martínez¹, Héctor González-Hernández³, Martín Pérez-Figueroa⁴

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos. ²Grupo Ecología y Manejo de Artrópodos, El Colegio de la Frontera Sur, Km 2.5, CP 30700, Tapachula, Chiapas, México. ³Fitosanidad-Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco, Km 36.5, CP 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. ⁴Productor Independiente de Agave, Jojutla, Morelos. [§]Autor para correspondencia: (jrojas@ecosur.mx)

RESUMEN

El picudo del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae), es la plaga de más importancia de los agaves silvestres y cultivados en México. El control de este picudo se dificulta debido a que su ciclo biológico se completa en el interior de la planta, por lo que solo es posible actuar sobre los adultos migrantes. La investigación se realizó en una plantación de maguey espadín, *Agave angustifolia* Haw., de 5 ha y 4 años de edad, en Tlaltizapán, Morelos, donde se colocaron 4 trampas tipo TOCCI (trampas tipo orificios con conos internos) por ha, con una separación entre ellas de 50 m. Cada trampa fue cebada con feromona de agregación sintética Agavenol® y 300 g de cebo alimenticio (plátano maduro), como agente aniquilante se aplicó insecticida clorpirifós etil. La feromona se cambió cada 2 meses, mientras que el cebo alimenticio y la aplicación del insecticida cada 15 días. Las revisiones de trampas para el registro de capturas se efectuaron cada 15 días. Los datos de captura indicaron una reducción constante de la población del picudo, de 9.24 picudos/trampa/día a 2.36 picudos/trampa/día en un periodo de trapeo de 9 meses. Sin embargo, en 5 meses del estudio las capturas fueron < 1 picudo/trampa/día. Nuestros resultados sugieren que es posible usar el trapeo masivo para manejar las poblaciones del picudo del agave, pero más estudios son necesarios.

Palabras clave: picudo del agave, trampas con feromona, trapeo, manejo.

ABSTRACT

The agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae), is the most important pest on wild and cultivated agaves in Mexico. Control of *S. acupunctatus* is difficult because its biological cycle occurs inside of the plant, thus it is only possible to take control actions against the migrant adults. This study was performed in a plantation of 5 ha sown with espadín maguey (*Agave angustifolia* Haw.) plants of 4-yr-old in Tlaltizapán, Morelos, Mexico. Four traps per ha, baited synthetic pheromone Agavenol® and 300g of food bait (ripped



banana), were used in this study. The insecticide chlorpyrifos ethyl was sprayed on the food bait for killing the attracted weevils. The pheromone dispensers were replaced every 2 months, while the food bait and insecticide application were changed fortnightly. Traps were checked each 15 days and weevils collected were transported to the laboratory for sexing. We found a gradual and constant decreasing of population density of this weevil from 9.24 weevils/trap/day to 2.36 weevils/trap/day in a period of 9 months. However, during 5 months, the captures were < 1 weevil/trap/day. Our results suggest that mass trapping is a feasible strategy for the management of the agave weevil, but further studies are needed.

Index words: agave weevil, pheromone-baited traps, mass trapping, management.

INTRODUCCIÓN

El maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw.) es esencial para la producción de mezcal y sus destilados en México, además de que representa una fuente de empleo e ingresos para familias de zonas marginadas de Guerrero y Morelos (P. F.-C., M. P.-F., y V. L.-M. datos no publicados). La producción de los agaves es afectada por una gama de problemas ambientales y biológicos (Valenzuela, 2003; CRT, 2005), entre estos se encuentran las plagas insectiles (González *et al.*, 2007), destacando el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) (Aquino *et al.*, 2014), el cual también daña considerablemente la producción de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) (Halffter, 1957), agave tequilero (*Agave tequilana* Weber) (Solís-Aguilar *et al.*, 2001) y otro agave mezcalero (*Agave cupreata* Trel. & Berger) (Barrios *et al.*, 2006; Aquino *et al.* 2007; Figueroa *et al.*, 2016a). La larva barrena el interior del tallo o mezontle del maguey, así como la base de las pencas, lo que puede causar la pudrición y muerte de la planta de maguey (CRT, 2005; González *et al.*, 2007). El adulto se encuentra con mayor frecuencia entre la base de las hojas y en el interior de la “piña” base de pencas y tallo (estructura de valor económico), aunque en infestaciones severas, también ataca el cogollo y ocasionalmente el escape floral. El adulto se encuentra presente en las plantaciones comerciales de agaves todos los meses del año y no inverte, pero es más abundante y tiene mayor migración en época de lluvias y con temperaturas más altas (Ramírez-Choza, 1993; González *et al.*, 2007; Figueroa-Castro *et al.*, 2013). Además del daño directo ocasionado por adultos y larvas (Solís-Aguilar *et al.*, 2001; González *et al.*, 2007; Aquino *et al.*, 2007), probablemente sea transmisor de algunos fitopatógenos causantes de pudriciones o de marchitez que atacan y causan la muerte de plantas de agave (Aquino *et al.*, 2011).

El manejo de este insecto plaga es complicado debido a sus hábitos crípticos, ya que casi todo su ciclo biológico ocurre dentro de una sola planta de agave, y cuando se termina el alimento tiende a migrar e infestar otras plantas, dicho proceso de colonización lo pueden realizar tanto hembras grávidas como machos (Figueroa-Castro *et al.*, 2015). Durante el proceso de colonización de la planta, los picudos usan compuestos volátiles de la planta hospedera y una feromona de agregación que liberan los machos para atraer a ambos sexos (Ruiz-Montiel *et al.*, 2003, 2008; Altuzar *et al.* 2007). La combinación de feromona y volátiles vegetales ha sido usada para monitorear las poblaciones del picudo en México (Figueroa-Castro *et al.*, 2013). El objetivo



de este estudio fue evaluar la factibilidad de usar trampas con feromona sintética con cebo alimenticio y un agente aniquilante, como una estrategia de trampeo masivo para suprimir poblaciones de *Scyphophorus acupunctatus* en maguey espadín.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue realizada en la plantación de agave (18.823868 N, -99.115058 W, 1182 msnm) ubicada en la localidad de Barranca Honda, Tlaltizapán, Morelos, México. Este municipio tiene un clima subtropical y húmedo caluroso, las temperaturas más altas ocurren de marzo a mayo, y el periodo de lluvias va de junio a octubre. La plantación tiene una superficie de 5 ha sembradas con maguey espadín (*A. vivípara* = *A. angustifolia*) de 4 años de edad. El predio fue elegido debido a que estudios preliminares en septiembre de 2016 indicaron alta infestación por *S. acupunctatus* (más de 500 picudos por trampa y un 20% de plantas con daños superficiales por picudo).

El experimento fue establecido el 24 de septiembre del 2016 y finalizó el 7 de julio de 2017. Trampas tipo TOCCI (trampa con orificios circulares y conos internos) fueron utilizadas durante este estudio, las trampas consisten en cubetas de plástico color blanco de 4 L con 4 orificios circulares (4 cm de diámetro) ubicados a 1 cm de la base de la cubeta para permitir la entrada de los picudos a la trampa. En cada uno de los orificios, dentro de la cubeta un cono de plástico transparente (diámetro: 4 cm entrada, 4 cm longitud y 2.8 cm salida) fue colocado para dificultar la salida de los picudos atrapados. El cebo feromonal comercial (Agavenol®) fue proporcionado por la compañía Squid Biological and Pheromones, S. A. de C. V. (Texcoco, Edo. de México). Este cebo fue dispensado en un liberador tipo burbuja plástica con membrana de liberación controlada. El cebo feromonal fue colgado en la parte superior central de la trampa. Adicionalmente, 300 g de plátano maduro (cebo alimenticio) fue colocado en cada trampa. El cebo alimenticio fue colocado dentro de recipientes de plástico transparente de 0.5 L con 16 orificios circulares de 1 cm de diámetro; dicho cebo alimenticio fue asperjado con una solución de 50 mL de clorpirifos etil (10 mL insecticida L⁻¹ de agua) como agente aniquilante. El recipiente con el cebo alimenticio fue colocado dentro de la trampa. La trampa fue instalada a nivel de piso, cercana a una planta de agave, dentro de la línea de plantación. El cebo feromonal fue remplazado cada 2 meses, mientras que el cebo alimenticio con el agente aniquilante fue cambiado cada 15 días.

La densidad de trampeo fue de 4 trampas por hectárea, colocándolas a 25 m de cada una de las orillas de la plantación, con una separación de 50 m entre ellas, con un total de 20 trampas en la plantación de 5 ha. En el área experimental no se realizaron aplicaciones de insecticidas al cultivo de agave ni ninguna otra medida de control para esta plaga. Las trampas fueron revisadas quincenalmente para registrar los picudos capturados, en total 19 muestreos fueron realizados. Los picudos capturados fueron conservados en alcohol al 70%, y transportados al laboratorio para separarlos por sexo usando la descripción de Ramírez-Choza (1993).



Todos los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y se graficaron en el programa Excel 2016 (Microsoft® Office) y se usó la prueba de Chi-cuadrada con el programa SAS para determinar si existían diferencias significativas entre el número de picudos hembras y machos capturados en las trampas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dos muestreos preliminares realizados en la segunda y tercera semana de septiembre de 2016 muestran una captura promedio de 542.80 y 450.20 picudos·trampa⁻¹, respectivamente, lo que indicó la pertinencia de establecer el experimento en ese predio de agave.

A medida que transcurrieron los muestreos puede observarse una reducción constante de la población del picudo (Figura 1), pasando de 9.24 picudos/trampa/día en la fecha de muestreo 1 (15 días después de haber establecido el experimento) a 0.79 picudos/trampa/día a la fecha de muestreo 16 (246 días de haber iniciado el experimento). Sin embargo, en la fecha de muestreo 17 se observó un pico en la que se contabilizaron 11.72 picudos/trampa/día, una captura numéricamente más alta que la encontrada en la primera fecha de muestreo. Después de ese pico de captura, el número de insectos capturados descendió de 4.84 picudos/trampa/día, en la fecha de muestreo 18 a 2.36 picudos/trampa/día, en la fecha de muestreo 19. De la fecha de muestreo 6 a la fecha de muestreo 16, las capturas fueron menores a 1 picudo/trampa/día.

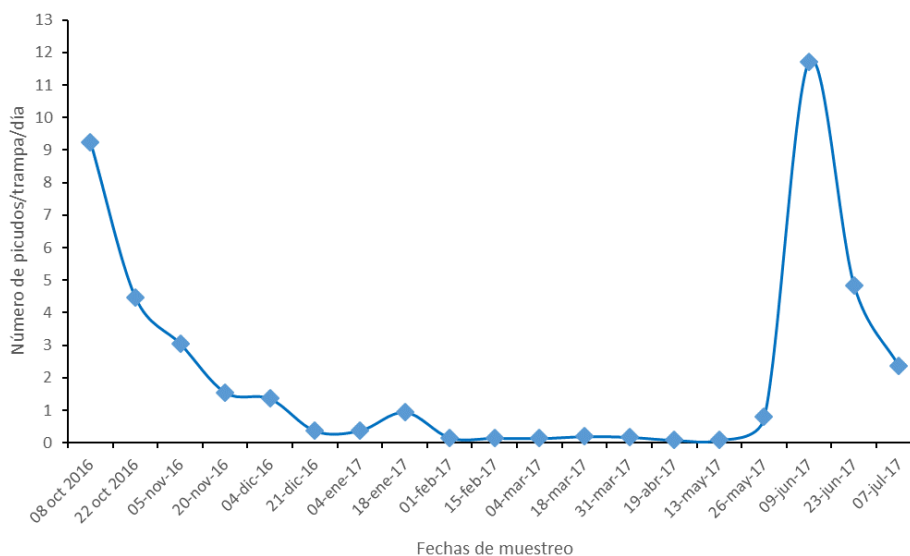


Figura 1. Número promedio de *Scyphophorus acupunctatus* capturados en relación a la fecha de muestreo. Datos calculados de 20 trampas. En total, se realizaron 19 fechas de muestreo, la primera correspondió al 8 de octubre de 2016 y la última fue realizada el 7 de julio de 2017, correspondiendo a 288 días de muestreo.



El incremento en la captura de picudos en la fecha de muestreo 17 podría haber sido derivado de las condiciones climáticas que podrían favorecer directamente a los picudos y su dispersión, ya que son periodos de mayor migración de picudos y las trampas actúan principalmente sobre los adultos migrantes que intentan colonizar más plantas. Sin embargo, sabemos que los picudos no responden a las trampas con feromona más allá de 100 m (Figueroa *et al.*, 2016), y que en el lugar de estudio no hay otras plantaciones de agave o nardo de donde los picudos pudieran haber migrado al sitio experimental, lo cual no implica que los picudos no puedan venir de lugares más lejanos. Por ejemplo, varios estudios han estimado que el picudo rojo, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier, puede dispersarse varios kilómetros desde el lugar de su origen (Hoddle *et al.*, 2015; Ávalos *et al.*, 2016).

Otro trabajo encontró que la especie relacionada *Scyphophorus yuccae* Horn. se dispersa ayudada por los vientos (Huxman *et al.*, 1997). Otra posibilidad, no mutuamente excluyente a la primera, es que el incremento en las capturas pudiera ser debido a que en esas fechas hubiera una mayor emergencia de adultos de la plantación en estudio. En Jalisco, el mayor número de adultos de *S. acupunctatus* en plantas ocurre en los meses de abril y mayo (Figueroa-Castro *et al.*, 2013), pero en Morelos no existe información al respecto.

En relación a la proporción sexual de los picudos capturados, casi durante todo el tiempo que duró el experimento en campo, más hembras (63.06%) que machos (36.94%) fueron significativamente capturadas (Figura 2). Lo anterior coincide con trabajos previos realizados en *Agave tequilana* F. A. C. Weber (Ruiz-Montiel *et al.*, 2008; Rodríguez-Rebollar *et al.*, 2012; Figueroa-Castro *et al.*, 2013; Figueroa-Castro *et al.*, 2016b; Figueroa-Castro *et al.*, 2016c) y en maguey espadín (Macedonio, 2015; Figueroa-Castro *et al.*, 2016a; Figueroa-Castro *et al.*, 2017; Cuevas, 2017; Cruz, 2017) y en nardo (López-Martínez *et al.*, 2011).

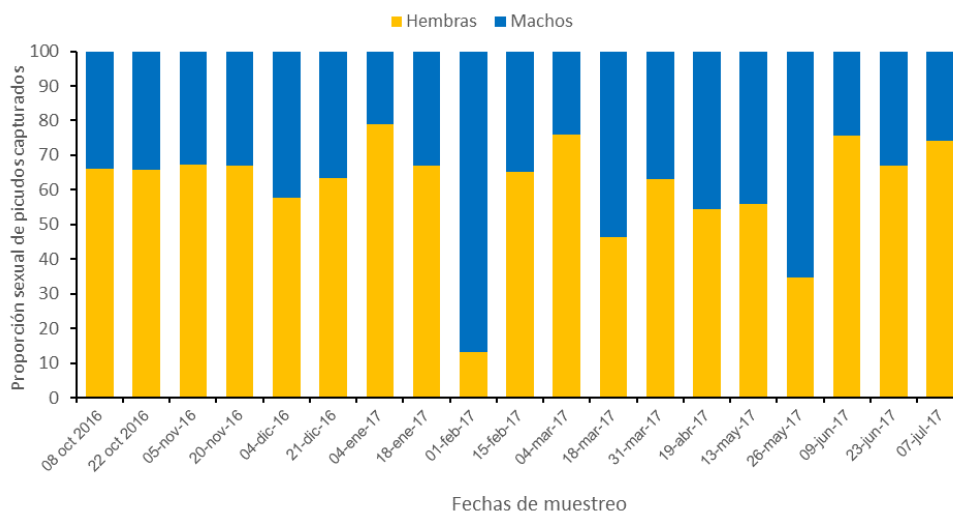


Figura 2. Proporción promedio sexual de *Scyphophorus acupunctatus* capturados por trampa en relación a la fecha de muestreo. Datos calculados con resultados de 20 trampas.



Los resultados de este estudio sugieren un potencial de uso del trapeo masivo como estrategia para el manejo del picudo del agave, debido a que las trampas capturan en general una mayor proporción de hembras que machos (lo cual reduce la progenie de las siguientes generaciones), además, es un insecto de ciclo largo y requiere un gran número de acumulación de grados día para completar un ciclo y presenta solo de 1.7 a 2 generaciones por año (sin tomar en cuenta generaciones traslapadas) (Figueroa, 2009), todo lo anterior son características favorables que hacen más viable el trapeo masivo (El-Sayed *et al.*, 2006).

A pesar de que los presentes resultados son prometedores y sugieren que el trapeo masivo puede lograr una importante reducción en la población de picudo en la plantación de agave donde se desarrolló la presente investigación, se requieren algunos estudios complementarios antes de implementar esta estrategia a gran escala. Una limitante en el presente estudio fue conseguir más plantaciones de agave para realizar experimentos en los que se incluyeran un control (p. ej. parcelas sin trapeo) y más repeticiones. Así mismo, será necesario evaluar otras densidades de trampas y contabilizar el daño del picudo durante el experimento. Otros factores que deben ser tomados para implementar una estrategia de trapeo masivo para manejar las poblaciones de picudo son el nivel de infestación del picudo (preferentemente bajo), edad de la plantación, manejo del cultivo, presencia de agaves como hospederos silvestres cercanos, otros cultivos como el nardo y en especial plantaciones comerciales de agave cercanas, factores ambientales como precipitación pluvial y temperatura, y capacidad de vuelo del picudo. En especial esta herramienta de trapeo masivo se debe enfocar hacia un manejo regional de la plaga, ya que intentos aislados en algunos predios podrían no dar los resultados esperados y en lo posible se deben incorporar otras estrategias de manejo como el control cultural (jima fitosanitaria), el uso de entomopatógenos y depredadores; en otras palabras será importante no ver al trapeo masivo como una estrategia aislada. También se considera muy importante enfocar el trapeo con fines de monitoreo a nivel regional, pero en especial en plantaciones nuevas y con bajos niveles de infestación, con el objeto de prevenir que dicha plaga se establezca en plantaciones y así evitar que sea más complejo y costoso su manejo.

CONCLUSIONES

Es factible utilizar trampas cebadas con feromona de agregación sintética + cebo alimenticio + aniquilante en una estrategia de trapeo masivo, ya que redujo significativamente las poblaciones de picudo en la plantación de agave espadín (*Agave angustifolia* Haw.), pero este trapeo masivo para que sea aún más efectivo, se le debe dar un enfoque regional en grandes áreas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al C. Moisés Zaga Charua por todas las facilidades y apoyo otorgado en su plantación de agave espadín donde se realizó la presente investigación. Así mismo, el primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar una beca para Estancia Posdoctoral en la Facultad de Ciencias Agropecuaria de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. A la empresa Squid Biological and Pheromones S.



A. de C. V. por proporcionar los liberadores de la feromona (Agavenol[®]) que se utilizaron en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Alpizar, D., M. Fallas, A. C. Oehlschlager, L. M. González, C. M. Chinchilla and J. Bulgarelli. 2002. Pheromone mass trapping of the West Indian sugarcane weevil and the American palm weevil (Coleoptera: Curculionidae) in palmito palm. *Florida Entomologist* 85: 426-430.
- Aquino B. T., E. Pozo V., U. Álvarez H. y J. R. Delgado Gamboa. 2014. Plantas hospedantes del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) en Oaxaca, México. *Southwestern Entomologist* 39: 163-169.
- Aquino, B. T., J. Ruiz V., S. Girón P., R. Pérez P., S. H. Martínez T. and M. E. Silva R. 2011. Interrelationships of the agave weevil *Scyphophorus acupunctatus* (Gyllenhal), *Erwinia carotovora* (Dye), entomopathogenic agents and agrochemicals. *African Journal Biotechnology* 68: 15402-15406.
- Aquino, B. T., M. A. Iparraguirre C. y J. Ruiz V. 2007. *Scyphophorus acupunctatus* (= *interstitialis*) Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). Plaga del agave mezcalero: pérdidas y daños en Oaxaca, México. *Revista UDO Agrícola* 7: 175-180.
- Ávalos, J., S. Balasch and A. Soto. 2016. Flight behavior and dispersal of *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae) adults using mark-release-recapture method. *Bulletin of Entomological Research* 106:606–614.
- Barrios, A. A., R. Ariza F., J. M. Molina M., H. Espinosa P. y E. Bravo M. 2006. Manejo de la fertilización en magueyes mezcaleros cultivados (Agave spp.) de Guerrero. Iguala, Guerrero. México. INIFAP. Campo Experimental Iguala. Folleto Técnico No.13. México. 44 p.
- Consejo Regulador del Tequila (CRT). 2005. Plagas y Enfermedades del *Agave tequilana* Weber, var. azul. Consejo Regulador del Tequila, A. C. México.
- Cruz, J. L. F. 2017. Trampas con infoquímicos para la detección y estimación de la densidad poblacional de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, en agaves, en Tlaquiltenango, Morelos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. (Tesis en proceso).
- Cuevas, L. D. 2017. Agentes de Aniquilación para *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (coleóptera: Dryophthoridae) en Trampas con Feromona, en Maguey Espadín. Tesis de licenciatura. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. (Tesis en proceso).
- El-Sayed, A. M., D. M. Suckling, C. H. Wearing and J. A. Byers. 2006. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of Economic Entomology* 99: 1550-1564.
- Figueroa, C. P. 2009. Fluctuación poblacional y trampeo de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) con feromona de agregación en plantaciones de agave tequilero en Jalisco. Tesis de Maestría. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p.
- Figueroa-Castro, P, H. González-Hernández, J. L. Carrillo-Sánchez, J. I. del Real-Laborde, J. F. Solís-Aguilar y J. C. Rojas. 2015. Ambos sexos de *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera:



- Dryophthoridae) pueden iniciar la colonización de la planta de agave (Asparagaceae). Acta Zoológica Mexicana 31: 495-497.
- Figueroa-Castro, P., H. González-Hernández, J. L. Carrillo-Sánchez, J. F. Solís-Aguilar, J. I del Real-Laborde and J. C. Rojas. 2016b. Effect of the height and distribution pattern of pheromone-baited traps on the capture of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. Florida Entomologist 99: 297-299.
- Figueroa-Castro, P., H. Rodríguez-Rebollar, H. González-Hernández, J. F. Solís-Aguilar J. I del Real-Laborde, J. L Carrillo-Sánchez and J. C Rojas. 2016c. Attraction range and inter-trap distance of pheromone-baited traps for monitoring *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. Florida Entomologist 99: 94-99.
- Figueroa-Castro, P., J. F. Solís-Aguilar, H. González-Hernández, R. Rubio-Cortés E. G. Herrera-Navarro, L. E. Castillo-Márquez and J. C. Rojas. 2013. Population dynamics of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) on blue agave. Florida Entomologist 96: 1454-1462.
- Figueroa-Castro, P., V. López-Martínez, A. Hernández-Ruiz, F. Silva-García and M. Campos-Figueroa. 2016a. Determining the best pheromone-baited traps for capturing *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in mezcal agave. Florida Entomologist 99: 790-792.
- Figueroa-Castro, P., V. López-Martínez, F. Silva-García and H. González-Hernández. 2017. Food attractants to increase pheromone-baited trap performance for *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in mezcal maguey. Florida Entomologist 100: 203-205.
- González, H., H., J. F. Solís A., C. Pacheco S., F. J. Flores M., R. Rubio C. y J. C. Rojas. 2007. Insectos barrenadores del agave tequilero, pp. 39-67. In: H. González Hernández, J. I. del Real Laborde, y J. F. Solís Aguilar [eds.], Manejo de Plagas del Agave Tequilero. Colegio de Postgraduados and Tequila Sauza, S.A. de C.V., Zapopan, Jalisco, México.
- Halffter, G. 1957. Plagas que afectan a las distintas especies de agave cultivadas en México. Dirección General de Defensa Agrícola. SAG. México, D.F.
- Hoddle, M. S., C. D. Hoddle, J. R. Faleiro, H. A. F. El-Shafie, D. R. Jeske and A. A. Sallam 2015. How far can the red palm weevil (Coleoptera: Curculionidae) fly?: Computerized flight mill studies with field-captured weevils. Journal of Economic Entomology 108: 2599-2609.
- Huxman, T. E., K. A. Huxman and M. R. Stamer. 1997. Dispersal characteristics of the yucca weevil (*Scyphophorus yuccae*) in a flowering field of *Yucca whipplei*. Great Basin Naturalist 57: 38-43.
- López-Martínez, V., I. Alia-Tejocal, M. Andrade-Rodríguez, M. de J. García Ramírez and J. C. Rojas. 2011. Daily activity of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) monitored with pheromone-baited traps in a field of Mexican tuberose. Florida Entomologist 94: 1091-1093.
- Macedonio, G. A. 2015. Abundancia estacional del picudo del agave en plantaciones de agave mezcalero en Guerrero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Oehlschlager, A. C., C. Chinchilla, G. Castillo and L. Gonzalez. 2002. Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). Florida Entomologist 85: 507-513.



- Ramírez-Choza, J. L. 1993. Max del henequén *Scyphophorus interstitialis* Gylh. Bioecología y control. Serie: Libro Técnico. Centro de Investigación Regional del Sureste. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Hidráulicos. Mérida, Yucatán, México.
- Rodríguez-Rebollar, H., J. C. Rojas, H. González-Hernández, L. D. Ortega-Arenas, A. Equihua-Martínez, J. I. del Real-Laborde y J. López-Collado. 2012. Evaluación de un cebo feromonal para la captura del picudo del agave (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Zoológica Mexicana* 28: 73-85.
- Ruiz-Montiel, C., G. García-Coapio, J. C. Rojas, E. A. Malo, L. Cruz-López, I. del Real and H. González-Hernández. 2008. Aggregation pheromone of the agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 127: 207–217.
- Solís-Aguilar, J. F., H. González-Hernández, J. L. Leyva-Vázquez, A. Equihua-Martínez, J. Flores-Mendoza y A. Martínez-Garza. 2001. *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, Plaga del agave tequilero en Jalisco, México. *Agrociencia* 35: 663-670.
- Valenzuela, Z. A. G. 2003. El agave tequilero, su cultivo y su industria de México. 3ª. ed. Editorial Mundi Prensa. Guadalajara, Jalisco. 215 p.



IMPORTANCIA DE LOS DOBA O MAGUEYES EN LA ETNIA ZAPOTECA DEL DISTRITO DE OCOTLÁN, OAXACA

[IMPORTANCE OF DOBA OR MAGUEYES IN THE ZAPOTEC ETHNIC GROUP OF OCOTLÁN DISTRICT, OAXACA]

Patricia Vásquez Luis^{§1}, Felipe de Jesús Palma Cruz², Claudia López Sánchez³

¹Estudiante de Posgrado, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México. ²Profesor-Investigador, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México. ³Profesora-Investigadora, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México. (felipepalmacruz@gmail.com, claudina1963@gmail.com). [§]Autor para correspondencia: (vasquezlp@yahoo.com)

RESUMEN

Las relaciones etnobotánicas que se establecen entre la cultura indígena zapoteca del distrito de Ocotlán y la diversidad local de “doba o magueyes” se manifiesta en una multiplicidad de usos. En el presente estudio se buscó conocer la importancia de los doba en la vida cotidiana y social de esta importante cultura. El estudio se dividió en dos fases, la primera consistió en recorridos de campo para identificar las poblaciones representativas de los doba; en la segunda fase se aplicaron 36 entrevistas semiestructuradas a informantes clave, con el fin de conocer los nombres locales, importancia y utilidad de cada especie. Se identificaron dos especies de Bromelias llamadas localmente como Doba kuelda’ y Doba xiidxu, 9 especies del género *Agave*; Doba biya’, Doba dxía, Doba ziiz, Doba daán, Doba naxh, Doba nupy y Doba beew y dos yucas Doba baadu’. Los usos se codificaron en ocho categorías: medicinal, alimenticio, bebida fermentada, bebida destilada, construcción, uso doméstico, ornamental y agrícola; de las cuales, la categoría con mayor número fue la categoría de construcción, siendo el quiote la parte más importante. La denominación doba no es exclusiva para los magueyes, hace más hincapié a la forma de la planta y una característica particular.

Palabras clave: Agaves, categoría de uso, doba baadu’, doba beew, doba kuelda’.

ABSTRACT

Ethnobotanical relationships that are established between the Zapotec indigenous culture of the district of Ocotlán and local diversity of "doba or magueyes" is manifested in a multiplicity of uses. In the present study, we sought to understand the importance of the Doba in everyday life and social of this important culture. The study was divided in two phases, with the first phase consisted of field trips to identify the representative populations of the doba; in the second phase, 36 semi-structures interviews were applied to key informants, in order to know the local names, the importance and usefulness of each species. We identified two species of bromeliads calls locally as Doba xiidxu and Doba kuelda', 9 species of the genus *Agave*; Doba biya', Doba ziiz, Doba dxia, Doba Daán, Doba nupy, Doba naxh, and Doba beew and two yucas Doba baadu'. The uses were codified in eight categories: medicinal, nutritional, fermented drink, drink distilled



water, construction, domestic, agricultural and ornamental; of which, the category with the largest number was the construction category, with the quiote being the most important part. The name doba is not exclusive to the maguey, more emphasis to the shape of the plant and a particular characteristic.

Index words: Agaves, category of use, doba baadu', doba beew, doba kuelda'.

INTRODUCCIÓN

Los agaves o magueyes conforman un grupo de recursos vegetales de especial importancia en México, gracias a una amplia diversidad y multiplicidad de usos que han tenido desde hace más de 10,000 años con los primeros pobladores de Meso y Aridoamérica. Esta larga interacción cultura-magueyes permitió el desarrollo de un vasto conocimiento tradicional sobre su aprovechamiento, así como las técnicas para su manejo y conservación (Ramírez, 1995; García-Mendoza, 2007; Delgado-Lemus, 2008).

Palma-Cruz (1993, 1998) ha reportado para el estado de Oaxaca 30 especies de agaves, cuatro variedades y tres formas; cinco de las cuales son endémicas. El mismo autor menciona que los distritos con mayor número de especies son el distrito de Huajuapán de la región Mixteca y distrito de Tlacolula en los Valles Centrales, con 15 y 14 especies respectivamente. Dentro de la misma entidad convergen 16 etnias o grupos indígenas (Juárez *et al.*, 2012) los cuales aprovechan los magueyes de acuerdo con sus necesidades y disponibilidad de éstos en su territorio.

Se considera a los Valles Centrales como la cuna de la civilización zapoteca, uno de los grupos más numerosos e importantes a nivel nacional, cuenta con siete distritos de gran importancia, entre los que se encuentra el distrito de Ocotlán cuyo idioma indígena predominante es el didxaza o zapoteco. Se conoce que esta cultura hace uso de los magueyes y los considera no solo parte de su riqueza natural, sino también tiene un carácter socioeconómico. Su aprovechamiento abarca una gran diversidad de usos entre los que se encuentran: fuente de fibras duras, medicinal, alimenticio, forraje, extracción de jugos para la preparación de bebidas fermentadas como el pulque y sobre todo para la destilación del mezcal (García-Mendoza, 2004; Rocha *et al.*, 2006).

El objetivo del presente trabajo fue reconocer la importancia de los doba o magueyes en la subsistencia de las poblaciones indígenas zapotecas a través de aplicación de entrevistas semiestructuradas a informantes clave, reportar los usos destinados a las especies presentes en su territorio y su importancia cultural.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se dividió en dos etapas, la primera consistió en recorridos de campo para identificar las poblaciones de magueyes que se desarrollan en la zona y posteriormente determinar las especies que están presentes en la zona de estudio. En la segunda fase se aplicaron entrevistas



semiestructuras enfocadas a conocer los diferentes usos que estas plantas han tenido entre los zapotecos del distrito de Ocotlán.

Con el fin de cuantificar la importancia de los magueyes en la cultura zapoteca del distrito de Ocotlán se propusieron dos índices: el índice de Valor de Uso (VU) de Phillips y Gentry (1993) (Ecuación 1) y el Índice de Importancia Relativa (RI) de Bennett y Prance (2000) (Ecuación 2). Estos índices están diseñados para comparar la importancia cultural de las plantas con respecto a la información proporcionada por los entrevistados.

$$VU = \sum \frac{U_i}{n} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde: U_i es el número de usos para una especie y n el número de informantes

$$IR = NCU + NTU \quad \text{Ecuación 2}$$

donde: **NCU** es el número relativo de categorías de uso y **NTU** es el número relativo de tipos de uso.

Considerando las categorías de uso propuestas por García-Mendoza (2004), Rangel-Calderón (1987), Batis-Muñoz (1994), García-Valenzuela (2011) y con modificaciones propias de acuerdo con los objetivos de este trabajo, los usos se agruparon en ocho categorías: medicinal, alimenticio, bebida fermentada, bebida destilada, construcción, uso doméstico, uso ornamental y uso agrícola (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías y tipos de uso de los doba en el distrito de Ocotlán, Oaxaca.

Categorías	Tipos de uso
Medicinal	Medicinal
Alimenticio	Alimento
	Uso indirecto
Bebida fermentada	Extracción de pulque
Bebida destilada	Producción de mezcal
Construcción	Contracción habitacional y mobiliario
	Pecuario
Uso domestico	Combustible
	Material de apoyo
Ornamental	Religioso
	Ornato
Uso agrícola	Forraje
	Cerco vivo
	Otros



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la clasificación tradicional, los zapotecos de esta región agrupan como maguey o **doba** a las plantas que presenta una morfología arrosetada con espinas e inflorescencia conocido popularmente como quiote.

Recorridos de campo

Como resultado de los recorridos de campo se identificaron dos especies de Bromelias llamadas localmente como **doba kuelda'** (*Hechtia* sp.) y **doba xiidxu** (*Bromelia pinguin*); 9 especies del género *Agave*: **doba biya'** (*A. potatorum* y *A. nussaviorum*), **doba dxía** (*A. convallis* y *A. angustiarum*), **doba ziiz** (*A. karwinskii* forma miahuatlán), **doba daán** (*A. karwinskii*), **doba naxh** (*A. angustifolia*), **doba nupy** (*A. americana*) y **doba beew** (*A. marmorata*) y dos yucas conocidas como **doba baadu'** (*Yucca mixteca* y *Yucca guatemalensis*).

En el Cuadro 2 se presentan cuatro especies denominados doba o magueyes que, de acuerdo a la clasificación botánica pertenecen a tres géneros distintos entre sí, por los tanto, el término doba no es exclusivo para el género *Agave*. En un estudio etnobotánico de los magueyes realizado por Franco-Gaona (1991) en el municipio de Xochilapa estado de Guerrero, la población local también reconoce como magueyes a los géneros *Tillandsia*, *Dasylirion*, *Yucca*, *Hechtia* y *Bromelia* además del género *Agave*.

Cuadro 2. Especies de magueyes o doba encontrados en el distrito de Ocotlán, Oaxaca.

Nombre científico	Nombre en zapoteco
<i>Agave potatorum</i>	Doba biya'
<i>Agave nussaviorum</i>	
<i>Agave karwinskii</i> for. miahutlán	Doba yaga; Doba ziiz
<i>Agave karwinskii</i>	Doba daán
<i>Agave marmorata</i>	Doba beew
<i>Agave angustifolia</i>	Doba naxh
<i>Agave americana</i>	Doba nupy
<i>Agave angustiarum</i>	Doba dxía
<i>Agave convallis</i>	
<i>Yucca mixteca</i>	Doba baadu'
<i>Yucca guatemalensis</i>	
<i>Hechtia</i> sp.	Doba kuelda'
<i>Bromelia pinguin</i>	Doba xiidxu



Categorías de uso

Las relaciones que se establecen entre los zapotecos del distrito de Ocotlán y la diversidad de magueyes presentes en su territorio se expresan en una multiplicidad de uso. Como resultado de las entrevistas a los informantes clave se determinó que la categoría con mayor número de usos fue la de construcción, siendo el quiate o escapo floral la parte más importante para la construcción gracias a su dimensión física y versatilidad, tanto en viviendas como en espacios destinados a proporcionar sombra al ganado; en la Figura 1a se puede observar los quiates de doba beew (*A. marmorata*) como vigas de soporte en un techado de lámina, los escapos de *A. angustifolia* también se utilizan con este propósito. Otra especie de gran tamaño utilizado para la construcción es *Agave salmiana* var. *ferox* como lo reportó Delgado-Lemus (2008) utilizando los quites para construir viviendas tradicionales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, Puebla; otro estudio realizado en el Valle de Tehuacán considera a *Agave marmorata* como la especie con mayor número de usos, principalmente para construcción (Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

La segunda categoría de mayor importancia es la de uso agrícola, la planta entera se usa como cerco vivo en terrenos agrícolas utilizando *A. karwinskii* forma miahuatlán como se observa en la Figura 1b; como forraje de emergencia durante la época de sequía se recurre a *Agave convallis* y *Agave angustiarum*; las pencas verdes de *Agave angustifolia* son utilizadas para amarrar zacate y el ixtle para hacer hondas, entre otros. El uso doméstico fue considerada la tercera categoría de importancia aprovechando las hojas de *Agave angustifolia* para la preparación de la barbacoa, como leña se usan los quiates y las hojas (Figura 1c). Algunos de los usos más modernos que se identificaron fue el de los quiates como soporte de las antenas de TV o polines para adornos durante alguna festividad familiar o como cerco para los corrales de caprinos.

Dentro de la categoría de uso ornamental, el quiate o escapo floral de doba beew (*Agave marmorata*) son utilizados cuando están en plena floración para adornar las entradas de las iglesias y de los panteones durante la festividad de semana santa, para ello se buscan ejemplares con buenos portes. En la Figura 1d se observa el quiate de doba beew en la puerta principal de la iglesia de San Miguel Tilquiapam; esta práctica coincide con lo mencionado por Torres-García (2009) en algunas comunidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Las categorías con menor número de usos fueron para la preparación de bebida destilada y fermentada, esta última actividad ya no se practica en algunos municipios, mientras que, en otros de la misma zona, la actividad mezcalera ha tenido una importancia relevante al formar parte de “La Región del Mezcal” (Salvatierra-García, 2003). Con la creciente demanda del mezcal la mayoría de las especies encontradas en el área de estudio son destinadas a los palenques de las comunidades productoras para la destilación de esta bebida utilizando tanto especies silvestres como cultivadas.

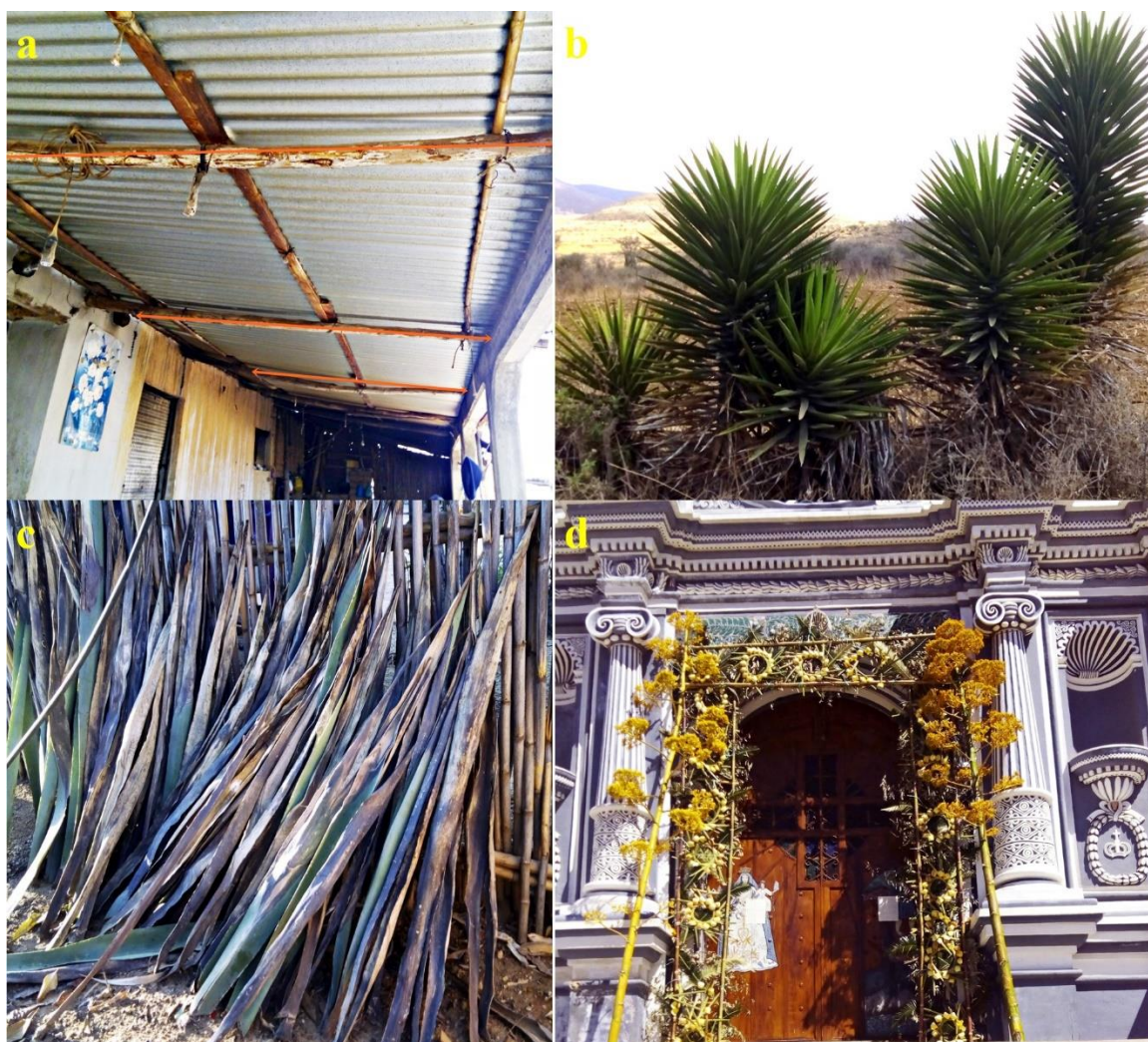


Figura 1. Usos de diferentes partes de los doba en el distrito de Ocotlán. a) quiotes de doba beew en construcción, b) el uso de *A. karwinskii* forma miahuatlán como cerco vivo en terrenos de cultivo, c) pencas de doba naxh para uso como leña y d) quiotes de *Agave marmorata* en la puerta de la iglesia de San Miguel Tilquiapam.

Índices de Valor de Uso e Importancia Relativa.

La especie con mayor valor de uso e importancia de acuerdo a los resultados obtenidos es **doba beew** (*Agave marmorata*), gracias a su diversidad de usos y versatilidad, esta especie fue reconocida por el 100 % de los informantes clave. Otras especies de gran uso e importancia al presentar valores mayores de 1 son: **doba yaga** (*Agave karwinskii* forma miahuatlán), **doba naxh** (*Agave angustifolia*), **doba biya'** (*Agave potatotum* y *nussaviorum*) y **doba dxía** (*Agave angustiarum* y *Agave convallis*) como se muestra en el Cuadro 3. Estas especies han permitido



contribuir en la economía de este grupo étnico del distrito de Ocotlán gracias a su gama de usos, disponibilidad y resistencia a las condiciones del medio ambiente donde se desarrollan.

Cuadro 3. Cuantificación del índice de Valor de Uso e Importancia Relativa.

Doba	Ut	Ic	TU	CU	NTU	NCU	Índice	
							VU	IR
Doba beew (<i>A. marmorata</i>)	17	36	8	6	0.88	1	0.42	1.88
D. yaga (<i>A. karwinskii</i> forma miahuatlán)	10	36	9	5	1	0.83	0.25	1.83
Doba naxh (<i>A. angustifolia</i>)	9	36	8	5	0.88	0.83	0.22	1.72
Doba biya' (<i>A. potatorum</i> y <i>A. nussaviorum</i>)	6	40	5	5	0.55	0.83	0.15	1.38
Doba dxía (<i>A. angustiarum</i> y <i>A. convallis</i>)	5	40	5	5	0.55	0.83	0.12	1.38
Doba baadu' (<i>Y. mixteca</i> y <i>Y. guatemalensis</i>)	4	40	4	3	0.44	0.5	0.1	0.94
Doba kuelda' (<i>Hechtia</i> sp.)	3	40	3	2	0.33	0.33	0.07	0.66
Doba daán (<i>A. karwinskii</i>)	2	40	2	2	0.22	0.33	0.05	0.55
Doba nupy (<i>A. americana</i>)	2	40	2	2	0.22	0.33	0.05	0.55
Doba xiidxu (<i>Bromelia pinguin</i>)	2	40	2	2	0.22	0.33	0.05	0.55

Fuente: García-Valenzuela (2011) con adaptaciones propias. Claves: Ut= uso total, Ic= total de informantes clave, TU= Tipos de uso, CU= categorías de uso, NTU= No. Relativo de tipos de uso, NCU= No. Relativo de categorías de uso, VU= Valor de Uso, IR= Importancia Relativa

CONCLUSIONES

Al igual que otros grupos indígenas del país, los zapotecos reconocen a los agaves en base a las características físicas que presentan, de esta manera el nombre designado a los magueyes por esta cultura es “doba”.

Los **doba** representan una importante fuente económica, alimenticia, medicinal y de uso cotidiano en la subsistencia. Este grupo de plantas satisfacen diversas necesidades para la población local de acuerdo a su alto valor de uso, como es el caso de **doba beew** (*Agave*



marmorata). Su importancia cultural se ve reflejada en la percepción y debida clasificación, además de tener gran implicación en el conocimiento tradicional sobre aspectos biológicos y ecológicos que fortalece la relación en un aprovechamiento sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a la primera autora durante la Maestría y a todas las comunidades zapotecas que participaron en el desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Batis-Muñoz, A. 1994. Etnobotánica Cuantitativa: análisis de los productos vegetales de cinco hectáreas del trópico húmedo mexicano. Tesis de Licenciatura, UNAM. Ciudad de México, México. 26 p.
- Bennett, B. C. and G. T., Prance. 2000. Introduced plants in the indigenous pharmacopeia of northern South America. *Economic Botany* 54:90-102.
- Delgado-Lemus, A. 2008. Aprovechamiento y disponibilidad espacial de *Agave potatorum* en San Luis Atolotlán, Puebla, México. Tesis de Maestría, UNAM. Michoacán, México. 43 p.
- Delgado-Lemus, A., I. Torres, J. Blancas and A. Casas. 2014. Vulnerability and risk management of *Agave* species in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10(53): 1-15
- Franco-Gaona, C. 1991. Estudio etnobotánico de los “magueyes” en Xochilapa, Guerrero. Tesis de Licenciatura, UNAM. Ciudad de México, México. 41 p.
- García-Mendoza, A. 2004. Agavaceas. In: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.) Biodiversidad de Oaxaca. UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, Word Wildlife Fund. pp. 159-170.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *Ciencias* 83:14-23.
- García-Valenzuela, M. A. 2011. Etnoecología de los agaves (Agavaceae) en la comunidad Ngiwa (Popoloca) de los Reyes Metzontla, Puebla, México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Puebla, México. 70 p.
- Juárez-Sánchez, D., M. Sosa-Montes y D. Toto-Jiménez. 2012. Intelectualidad indígena zapoteca en los municipios: Santo Domingo Ozolotepec, San Juan Ozolotepec y San Francisco Ozolotepec, Oaxaca. *Espiral* 19 (54): 143-169.
- Palma-Cruz, F. 1993. Taxonomía y distribución de las especies de *Agave* en Oaxaca. *Amaranto* 6:1-5.
- Palma-Cruz, F. 1998. Las especies útiles del género *Agave* en Oaxaca. *Huaxyacac* 16: 12-16.
- Phillips, O. and A. H. Gentry. 1993. The useful plants of Tambopata, Peru: I. Statistical hypothesis tests with a new quantitative technique. *Economic Botany* 47:15-32.
- Ramírez, J. 1995. Los magueyes, plantas de infinito uso. CONABIO, *Diversitas*. 3:1-17.
- Rangel-Calderón, S. 1987. Etnobotánica de los Agaves del Valle del Mezquital. Tesis de Licenciatura, UNAM. Ciudad de México, México. 19 p.



- Rocha, M., A. S. Good, F. F. Molina, H. Arita, A. Castillo, A. J. García-Mendoza, M. A. Silva, B. S. Gaut, V. Souza and L. E. Eguiarte. 2006. Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany* 22(1):329-344.
- Torres-García, I. 2009. Dinámica poblacional de dos morfos de *Agave potatorum* Zucc. en el Valle de Tehuacán - Cuicatlán: bases para su manejo sustentable. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación en Ecosistemas, UNAM. p.16
- Salvatierra-García, A. 2003. El mezcal y su importancia para el desarrollo económico del estado de Oaxaca. El sector exportador: retos y oportunidades en el mercado de la Unión Europea. Tesis de Licenciatura, Universidad de las Américas Puebla. Puebla, México. 12 p.



VARIABILIDAD GENÉTICA DE *Agave durangensis* Y *Agave salmiana* ASOCIADA A SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN DIFERENTES POBLACIONES DEL ESTADO DE DURANGO

[GENETIC VARIABILITY OF *Agave durangensis* AND *Agave salmiana* ASSOCIATED TO ITS ANTIOXIDANT ACTIVITY IN DIFFERENT POPULATIONS OF THE STATE OF DURANGO]

Karla Araceli Silva Ramírez^{1§}, Rene Torres Ricario², José Roberto Medina Medrano¹

¹Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-MICHOACÁN). Justo Sierra No. 28, Centro, C.P. 59510, Jiquilpan de Juárez, Michoacan. Teléfono: 01 (353) 533 02 18 Ext. 82. ²Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-DURANGO). Sigma No. 119, Fracc. 20 de Noviembre II, C.P. 34220, Durango, Durango. Teléfono: (618) 814 20 91, Ext. 82643. (rtorresr@ipn.mx, newlife727@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: (karlaracelisilva@gmail.com).

RESUMEN

Se realizó la caracterización molecular de dos poblaciones silvestres del género *Agave* (*Agave durangensis* y *Agave salmiana*) ubicadas en el Estado de Durango. Esto con el fin de determinar la variabilidad genética intrapoblacional e interpoblacional, así como comparar el grado de alteración que sufre *A. durangensis* con respecto a *A. salmiana*, por ser la primera una especie sumamente explotada. La caracterización molecular se realizó con marcadores de Secuencias Simples Repetidas (SSR), que son segmentos cortos de ADN de 1 a 6 pares de bases (pb), que se repiten en tándem y de forma aleatoria en el genoma de los seres vivos. Se amplificaron por medio de PCR, la separación y visualización se llevó a cabo en geles de acrilamida al 6%. Los resultados indican que la variabilidad genética de *A. durangensis* es alta (valor de H_e) con respecto a otras especies de agave previamente reportadas, que su contenido fenólico y capacidad antioxidante es bajo al compararla con la población de referencia (*A. salmiana*), esto puede ser debido al aprovechamiento indiscriminado de la especie, y a su alto grado de explotación; el uso de microsatélites (SSR) para la identificación y tipificación de especies, es una herramienta genética de sumo aprovechamiento.

Palabras clave: *Agave durangensis*, *Agave salmiana*, variabilidad genética, marcadores moleculares, SSR.

ABSTRACT

The molecular characterization of two wild populations of the genus *Agave* was carried out (*Agave durangensis* y *Agave salmiana*) located in the State of Durango. This is done in order to determine the intrapopulation and interpopulation genetic variability, as well as to compare the degree of alteration suffered by *A. durangensis* with respect to *A. salmiana*, since the former is a highly exploited species. The molecular characterization was carried out with markers of



Repeated Simple Sequences (SSR), which are short DNA segments of 1 to 6 base pairs (bp), which are repeated in tandem and randomly in the genome of living beings. They were amplified by PCR, the separation and visualization was carried out in 6% acrylamide gels. The results indicate that the genetic variability of *A. durangensis* is high (He value) with respect to other species of agave previously reported, that its phenolic content and antioxidant capacity is low when compared with the reference population (*A. salmiana*), this may be due to the indiscriminate exploitation of the species, and its high degree of exploitation; The use of microsatellites (SSR) for the identification and typing of species is a genetic tool of great use.

Index words: *Agave durangensis*, *Agave salmiana*, genetic variability, molecular markers, SSR.

INTRODUCCIÓN

México es considerado centro de origen del género *Agave*, donde se encuentran 272, de las 310 especies reportadas, con 135 especies endémicas (García, 2002). Los miembros de la familia Agavaceae están entre las especies más notables a través de las zonas áridas y semiáridas de México y América del Norte. El género *Agave* es quizás la más importante de la familia Agavaceae debido a su amplia distribución (Gentry, 1982). El número de especies reportado para Durango ha variado de 22 especies (Galván y González, 2009) a 27 (González-Elizondo *et al.*, 2009).

En Durango *Agave durangensis* es una especie que sustenta una actividad económica importante de producción de mezcal, misma que se realiza con plantas colectadas de sus poblaciones naturales (Valenzuela-Ruiz *et al.*, 2003), siendo este su principal uso y dejando un poco de lado algunas más de sus propiedades como las que se le atribuyen a su actividad antioxidante, ya que aportan efectos benéficos a la salud por contener ciertos compuestos fenólicos en su flor y hojas (Barriada-Bernal *et al.*, 2014). Se consideran de suma importancia en la industria regional para la producción del mezcal, esta práctica trae el riesgo de provocar la degradación de su hábitat, debido a la sobreexplotación, situación que podría causar una potencial extinción del recurso (Ortega-Chaves, 2009).

A. durangensis presenta una alta variabilidad morfológica (Gentry, 1982), por lo que su delimitación como especie es una tarea difícil. Debido a esa alta variabilidad algunos autores (Valenzuela-Ruiz *et al.*, 2003) se han referido a este recurso como un complejo más que una sola especie. Lo anterior da pauta para buscar otros caracteres que, aunados a los morfológicos, ayuden a la delimitación específica de ese recurso (Ortega-Chávez *et al.*, 2009).

Los datos arrojados nos dan a conocer sobre el parentesco que existe sobre estas especies, así como sus similitudes y diferencias en cuanto a comportamiento de actividad antioxidante, así como permiten comparar el grado de trastorno que sufre *A. durangensis* con respecto en *A. salmiana*, por tratarse de (*A. durangensis*) una especie suamamente atacada en sus poblaciones silvestres, aunado a la importancia que representa esta especie en el Estado, se considera importante la información que se generó partir de este estudio.



Los datos arrojados nos dan a conocer sobre el parentesco que existe sobre estas dos especies, así como sus similitudes y diferencias de actividad antioxidante, además de permitir comparar el grado de trastorno que sufre *A. durangensis* con respecto en *Agave salmiana*, por tratarse de (*A. durangensis*) una especie sumamente explotada en sus poblaciones silvestres, aunado a la importancia que representa esta especie en el Estado, se considera importante la información que se generó partir de este estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se analizaron dos poblaciones silvestres del género *Agave*, ubicadas en el estado de Durango. El Estado de Durango se encuentra al centro-norte de la República Mexicana. De manera aleatoria, se colectó tejido foliar de cada uno de los individuos que presuntamente y por sus características morfológicas se les consideraron como *A. durangensis* y *A. salmiana* correspondientemente.

Extracción de ADN

Cada muestra se trabajó de manera individual. El método de extracción utilizado fue el propuesto por Keb Llanes *et al.* (2002). Modificado en el Laboratorio de Biotecnología del CIIDIR-IPN-DGO.

Amplificación de Secuencias Simples Repetidas por PCR

El protocolo de amplificación utilizado fue el descrito por Infante *et al.*, (2003). Los iniciadores o primers utilizados en este estudio, son: APAR3-11, APAR2-12, APARLC20, APARLC21, APARLC28, APARLC34 y APARLC35.

Separación y visualización de secuencias simples repetidas o SSR amplificadas

Las SSR amplificadas se separaron por electroforesis en geles de acrilamida al 6%, de acuerdo a métodos estándar (Sambrook *et al.*, 1989), y se visualizaron por tinción con Syber Gold.

Determinación del contenido fenólico y la capacidad antioxidante

Las muestras se secaron de manera individual en una secadora botánica. El material una vez seco, se pulverizó y se almacenó en obscuridad a temperatura ambiente hasta su uso en la preparación de los extractos. Los extractos fenólicos crudos se prepararon por triplicado, de acuerdo al método descrito por Almaraz-Abarca *et al.* (2004). Dos a cinco gramos de tejido pulverizado se maceraron en 40 mL de una solución acuosa de etanol al 80% para posteriormente poner a sonicar por 1 hora, posteriormente se pusieron en agitación constante durante 24 horas a temperatura ambiente, en oscuridad. Las suspensiones se centrifugaron a 3500 rpm, durante 10 min. Se recuperaron los sobrenadantes, que contienen los compuestos fenólicos. Las pastillas se volvieron a extraer en 40 mL de etanol al 20% con un tiempo de maceración de 1 h, se



centrifugaron y los sobrenadantes respectivos se combinaron para formar los extractos crudos. Cada extracto crudo se concentró a sequedad y se almacenó en obscuridad hasta su uso. Para cada muestra se cuantificó la cantidad de extracto crudo obtenido, por medio de la diferencia de peso de cada uno de los recipientes antes y después del proceso de extracción. Se pesó 0.04 g de extracto seco, que se diluyeron en 10 mL de etanol al 80% para así tener una concentración de $4 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$.

Cuantificación de fenoles totales (Folin-Ciocalteu)

El contenido de fenoles totales se determinó usando el método de Folin-Ciocalteu (Nurmi *et al.*, 1996). Así 1.250 mL de agua destilada se le agregaron 125 μL de cada extracto además de 62.5 μL reactivo de Folin-Ciocalteu, se homogenizo y dejó reposar por 5 min. Posterior a esto se le adicionaron 187.5 μL de carbonato de sodio al 20%, se homogenizo y se dejó reposar en obscuridad a temperatura ambiente durante dos horas. La absorbancia se registró a 760 nm en un espectrofotómetro Thermo Electron Corporation Genesys 10 UV. Ácido gálico fue usado como estándar ($\text{Abs}_{760\text{nm}} = 0.0068 [\text{ácido gálico}] + 0.014$, coeficiente de correlación $r = 0.9983$). El resultado se expresó como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco ($\text{mg EAG} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ES}$).

Flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales se determinó usando el método de Woisky y Salatino (1998) con modificaciones de acuerdo a la metodología publicada por Ordoñez *et al.* (2006). A 0.5 mL de cada extracto, se agregó 0.05 mL de AlCl_3 al 2% (Diluido en etanol al 100% v/v), las mezclas fueron sometidas a agitación para dejarlas en reposo por una hora para posteriormente ser leídas a 420 nm. Se utilizó quercetina (Q) como estándar ($\text{Abs}_{420\text{nm}} = 0.0667 [\text{quercetina}] + 0.0246$, coeficiente de correlación $r = 0.9986$), la preparación para la curva se llevó a cabo como se menciona anteriormente. El resultado fue expresado en miligramos de equivalentes de quercetina por gramo de extracto seco ($\text{mg EQ} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ES}$).

Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante total se realizó de acuerdo al método reportado por (Prieto *et al.*, 1999). 100 μL de muestras muestra a $4 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ se combinaron con 1 mL de solución preparada con ácido sulfúrico 0.6 M, fosfato de sodio 28 Mm, y molibdato de amonio 4 Mm. Las muestras se incubaron en un termoblock a 95°C durante 90 min. Después, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente, la absorbancia de cada una se midió a 695 nm contra un blanco formado por todos los componentes de la mezcla de reacción y agregando etanol en lugar de muestra. Ácido ascórbico (AA, $1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) fue usado como referencia; alícuotas de 100 μL se analizaron como se describió previamente para las muestras. La capacidad antioxidante de las muestras se expresó como mg equivalentes de ácido ascórbico por mL de extracto ($\text{mg EAA} \cdot \text{mL}^{-1}$).

Análisis del poder reductor



El poder reductor se determinó de acuerdo a Siddhuraju y Becker (2003) con algunas modificaciones. Doscientos cincuenta microlitros de soluciones, representando concentraciones entre 10 y 100 µg, cada muestra se mezcló con 250 µL de tampón de fosfato (0.2 M, pH 6.6) y 250 µL de ferrocianuro de potasio (1.0 % w/v). La mezcla se incubó en termoblock a 50°C durante 20 min, se añadieron 250 µL de ácido tricloroacético (10% w/v), se centrifugó a 2800 rpm durante 10 min a 25°C. Alícuotas del sobrenadante se (500 µL) se mezclaron con 500 µL de agua desionizada y 100 µL de cloruro férrico (0.1% w/v); la absorbancia se registró a 700 nm. Ácido ascórbico se usó como estándar.

Análisis de la actividad bloqueadora del radical libre DPPH

Para determinar la capacidad antioxidante se utilizó el método de DPPH modificado por (Campos, 1997). Cuatro concentraciones (0 a 150 µL concentraciones de flavonoides calculadas mediante curvas de calibración y una curva estándar de quercetina) de cada muestra fue individualmente adicionada a una solución de DPPH (6.2 µg·mL⁻¹ en etanol absoluto) de tal manera que se mantuviera un volumen final de 1 mL. El decremento de la absorbancia fue determinado a 523 nm después de 20 min. Se realizó por triplicado. Se preparó una muestra patrón (blanco) que contenía todos los reactivos [excepto la muestra, que fue reemplazada con etanol 100% (v/v)]. La capacidad bloqueadora del radical DPPH se calculó como el porcentaje de decoloración de DPPH usando la siguiente ecuación: % efecto bloqueador = $[(A_{DPPH} - A_S)/A_{DPPH}] \times 100$, donde AS es la absorbancia de la solución cuando se añadió la muestra y A_{DPPH} es la absorbancia del blanco. La concentración que proporciona el 50% de inhibición (EC₅₀) fue calculado a partir de la gráfica del porcentaje del efecto bloqueador contra la concentración del extracto. El resultado se expresó en EC₅₀ (mg·mL⁻¹).

Actividad bloqueadora del radical catiónico ABTS

La actividad bloqueadora del radical catiónico ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio) se determinó de acuerdo a la metodología reportada por Re *et al.*, (1999) y Sánchez *et al.*, (2007), con algunas modificaciones. El radical catiónico ABTS se generó a partir de una reacción de oxidación del ABTS (7 mM) con una solución de persulfato de potasio (2,45 mM), la mezcla se dejó en la oscuridad a temperatura ambiente durante 16 horas antes de su uso. La solución de ABTS se diluyó con etanol absoluto para obtener una absorbancia de entre 700 a 800 nm. Alícuotas de 100 µL de cada extracto fueron mezclados con 2 mL de la solución de ABTS, se agitó y la absorbancia fue medida a 734 nm después de seis min. Se preparó una muestra patrón (blanco) que contenía todos los reactivos (excepto la muestra, que fue reemplazada con etanol 80% (v/v)). La capacidad bloqueadora del radical ABTS se calculó como el porcentaje de decoloración de ABTS usando la siguiente ecuación: % efecto bloqueador = $[(A_{ABTS} - A_S)/A_{ABTS}] \times 100$, donde AS es la absorbancia de la solución cuando se añadió la muestra y A_{ABTS} es la absorbancia del blanco. La concentración que proporciona el 50% de inhibición (EC₅₀) fue calculado a partir de la gráfica del porcentaje del efecto bloqueador contra la concentración del extracto. El resultado se expresó en EC₅₀ (mg·mL⁻¹).



Análisis de datos

La relación genética de las muestras de *A. durangensis* y *A. salmiana* se estudió construyendo una matriz de presencia/ausencia con los patrones de bandeo de los SSR. Cada fragmento de tamaño único, considerado como un locus para cada iniciador, se anotó como presente (1) o ausente (0) para cada muestra. El nivel de polimorfismo y la capacidad discriminaria de cada iniciador se expresó en términos del Contenido de Información Polimórfica (PIC) y de la probabilidad de que dos individuos compartan el mismo alelo por azar (PDICMA). Para el cálculo de la capacidad informativa y discriminaria de los iniciadores se utilizó el programa Info-Gen 2013. El porcentaje de polimorfismo (P), se calculó para estimar la variabilidad genética dentro de la población; y el flujo génico (Nm, calculado a partir del coeficiente de diferenciación génica, GsT, con la siguiente fórmula $Nm=0.5 (1-GsT/GsT)$, la identidad genética de Nei, y la distancia genética se estimaron para calcular la diversidad genética entre poblaciones. Todos esos parámetros se calcularon con el programa Popgene 1.32 (Yeh *et al.*, 1999).

Las determinaciones de contenidos fenólico, de flavonoides, y las evaluaciones de la capacidad antioxidante se realizaron por triplicado, y los resultados correspondientes se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de sola vía o oneway. Las diferencias entre los valores con $p < 0.05$ se consideraron significativas. Se realizó una prueba de Tukey para la comparación de medias y pruebas de correlación de Pearson entre las diferentes determinaciones, usando el programa SPSS 17. Además, se realizaron pruebas de correlación entre el contenido de fenoles y flavonoides totales y la capacidad antioxidante de las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfiles electroforéticos de amplificación

En la Figuras 1 y 2 se muestran los electroferogramas de los individuos de *A. durangensis* y *A. salmiana* muestreados.

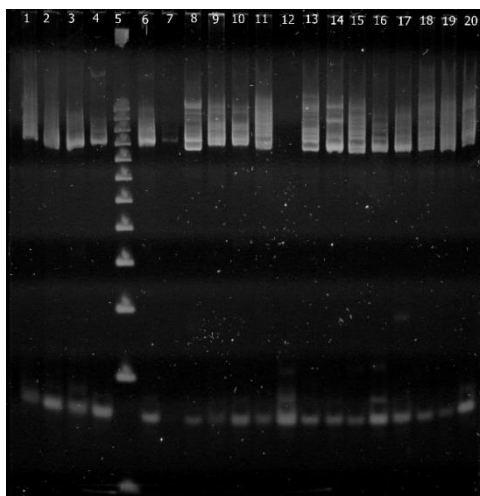




Figura 1. Patrón electroforético de los productos de PCR a partir de ADN obtenido de muestras de *Agave durangensis* de la población silvestre de Tuitán, Durango. De izquierda a derecha carril 1 al carril 4: individuos D001-D004, carril 5 marcador de peso molecular (25 pb), del carril 6 al carril 20: individuos D05-D020 a excepción del D011.

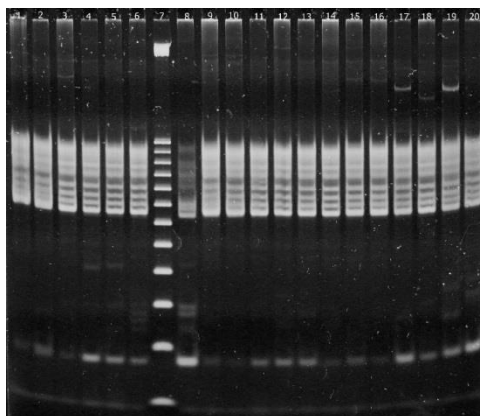


Figura 2. Patrón electroforético de los productos de PCR a partir de ADN obtenido de muestras de *Agave salmiana* de la población silvestre del Pueblito, Durango. De izquierda a derecha carril 1 al carril 6: individuos S001-S006, carril 7: marcador de peso molecular (25 pb), del carril 8 al carril 20: individuos S008-S021 a excepción del S014.

Análisis descriptivo de los datos

En el Cuadro 1 observamos el número de muestras analizadas, y el total de bandas. De las 38 muestras ninguna se encuentra duplicada. Se obtuvo un total de 98% de bandas polimórficas es decir que solo el 2% están repetidas o comparten un solo alelo y hay 7 grupos de marcadores o primers.

Cuadro 1. Análisis descriptivo realizado en el programa Info-Gen 2013.

Resumen	Cantidad de casos
Muestras	38
Muestras duplicadas	0
Bandas (número)	260
Patrón bandas duplicadas	153
Bandas monomórficas	5
Bandas polimórficas (%)	98.08
Primers	7

Análisis por primer

En el cuadro 2 se encuentra la lista de los siete primers que se analizaron y sus valores. El análisis arrojó un total de bandas polimórficas de 255, un total de bandas monomórficas de 5, por tanto,



un total de bandas de 260, un contenido de información polimórfica que va desde el 0.06 al 0.10. Donde, BP bandas polimórficas, BM bandas monomórficas, BT bandas totales, PIC Contenido de Información Polimórfica y PDICMA probabilidad de que dos individuos compartan el mismo alelo por azar.

El primer que más bandas amplificó fue el APAR3- 11 (43 bandas) con un 4.43 % de amplificación a través de las 38 muestras. La menor probabilidad de que dos individuos compartan el mismo alelo por primer fue encontrada para el primer APARLC 34. Esto indica que dicho primer mostró un alto grado de confianza en la identificación. Estos resultados también muestran que el primer APARLC 21 tiene los menores valores de capacidad discriminatoria y contenido de información polimórfica; el resto de los primers mostraron similar capacidad discriminatoria a excepción de APARLC 35.

Cuadro 2. Análisis de ADN a muestras de *A. durangensis* y *A. salmiana* por primer.

Primer	BP	BM	BT	PMF(95)	PIC	E.E.	AMP	PDICMA
APAR3- 11	43	1	44	0.43	0.08	0.01	4.43	3.8E-07
APAR2- 12	37	1	38	0.47	0.09	0.01	5.12	2.6E-07
APARLC 20	37	1	38	0.45	0.08	0.01	4.43	2.6E-07
APARLC 21	35	0	35	0.1	0.06	4.8E-03	3.46	9.3E-07
APARLC 28	33	1	34	0.44	0.09	0.01	5.11	4.3E-07
APARLC 34	40	1	41	0.49	0.09	0.01	4.81	2.3E-07
APARLC 35	30	0	30	0.60	0.10	0.01	6.05	7.4E-08
Total	255	5	260				4.74	1.8E-46

Medidas de diversidad genética

En el cuadro 3 se observa los valores de diversidad genética para *A. durangensis* y *A. salmiana* como referencia, empleando microsatélites. (Medidas de diversidad en filas, poblaciones en columnas). Se observa que tienen comportamiento similar, los análisis estadísticos muestran a continuación que no hay diferencias entre sus índices de variabilidad, no indica que sean especies iguales si no que presentan patrones similares.

Existen autores que coinciden en afirmar que, si el enfoque del estudio es observar las diferencias entre individuos a nivel de nucleótidos, mientras mayor sea el número de bandas o loci que se muestreen mayor será la confiabilidad de los resultados (Koskinen *et al.*, 2004; Nybon, 2004).

De acuerdo a los marcadores SSR la población natural de *A. durangensis* ubicada en el poblado de Tuitan, Durango presenta una alta variabilidad genética, pero al hacer comparación con la población de *A. salmiana* se observa que esta se encuentra más integrada, es decir que se debe su buen estado genético a la baja actividad antropogénica que presenta. Esa alta variabilidad



puede estar representando un proceso activo de especiación, al elevado grado de actividad antropogénica que presenta la especie.

Cuadro 3. Datos de diversidad genética.

Estadístico	<i>A. durangensis</i>	<i>A. salmiana</i>	Total
Loci polimórficos(95)	0.143	0.571	0.429
Diversidad genética	0.087	0.095	0.091
Heterocigosis promedio	0.962	0.932	0.947
Heter.insesgada de Nei	0.089	0.097	0.092
# promedio de alelos	2.000	2.000	2.000
Número de alelos	14.000	14.000	14.000

Mediante un agrupamiento por un análisis de coordenadas principales y un análisis de conglomerados se agruparon los individuos de acuerdo a sus frecuencias alélicas para corroborar los datos (Figura 3), se observa que *A. salmiana* se agrupa de manera individual y *A. durangensis* en otro grupo, a pesar que existen ciertos individuos de *A. salmiana* que están distribuidos en entre los dos grupos, por tanto, se observa que son especies diferentes.

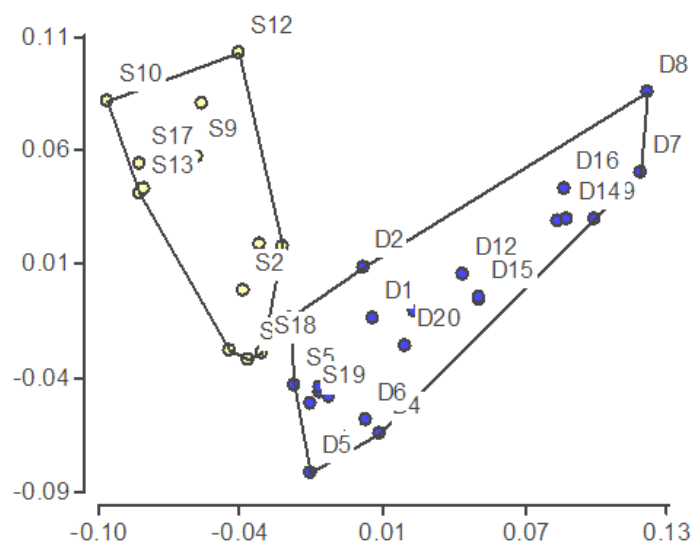


Figura 3. Agrupamiento de individuos de *A. durangensis* y *A. salmiana* de acuerdo a sus frecuencias alélicas.

Determinación del contenido fenólico y la capacidad antioxidante

En el Cuadro 4 se puede observar la comparación del comportamiento de ambas poblaciones analizadas con respecto a su capacidad antioxidante y contenido fenólico.



Cuadro 4. Contenido fenólico y actividad antioxidante de las poblaciones *Agave* analizadas.

Muestra	Fenoles totales (mg EAG g ⁻¹ ES)	Flavonoides totales (mg EQ g ⁻¹ ES)	Capacidad antioxidante total (mg EAA mL ⁻¹)	DPPH EC ₅₀ (mg mL ⁻¹)	Poder reductor (µg EAA mL ⁻¹)	ABTS EC ₅₀ (mg mL ⁻¹)
<i>A. durangensis</i>	1.15±0.24 ^a	1.4±0.26 ^a	7.81±0.09 ^a	3.43±1.62 ^a	0.085±0.02 ^a	0.379±0.01 ^a
<i>A. salmiana</i>	3.54±0.59 ^b	1.9±0.45 ^a	15.94±1.80 ^a	3.34±1.82 ^a	0.128±0.03 ^a	0.394±0.001 ^a

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres repeticiones. Diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Cuantificación de fenoles totales

Se observa una clara diferencia entre el comportamiento de fenoles totales entre la población de *A. durangensis* y *A. salmiana*. Con una concentraciones para *A. durangensis* de 1.15 ± 0.24 mg EAG/g ES y para *A. salmiana* 3.54 ± 0.59 mg EAG/g ES. Sólo fenoles totales presentaron valores de p menor a 0.05 por lo que es la única prueba que es diferente a las demás, a y que presentó diferencias significativas, de acuerdo al análisis de varianza de una sola vía realizado con el programa SPSS 17.

Cuantificación de flavonoides totales

Para la población de *A. durangensis* resultó una concentración de $1.4 \text{ mg} \pm 0.26 \text{ EQ} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ES}$, mientras que para *A. salmiana* $1.9 \text{ mg} \pm 0.45 \text{ EQ} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ES}$, lo cual denota una clara diferencia en cuanto al contenido de flavonoides totales.

Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante de las muestras se expresó como mg equivalentes de ácido ascórbico por mL de extracto (mg EAA·mL⁻¹). Se observa que la población de *A. salmiana* mostró una mayor capacidad antioxidante que la población de *A. durangensis*. La población de *A. durangensis* presentó una concentración de $7.80 \pm 0.09 \text{ mg EAA} \cdot \text{mL}^{-1}$ y para la población de *A. salmiana* $15.93 \pm 1.80 \text{ mg EAA} \cdot \text{mL}^{-1}$.

Análisis de la actividad bloqueadora del radicar libre DPPH

Se observa la comparación en cuanto a la actividad bloqueadora del radical DPPH para la población *A. durangensis*, así como para la población de referencia *A. salmiana*; en la cuadro 4 podemos observar que la población de *A. durangensis* presenta mejor actividad bloqueadora del radical DPPH. Con una concentración inhibitoria media para *A. durangensis* de $3.43 \pm 1.62 \text{ mg/mL}$ y de para *A. salmiana* $3.33 \pm 1.82 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$.

Análisis del poder reductor



Se puede observar el comportamiento que mantuvieron ambas poblaciones en el cuadro 4, observando un mayor poder reductor de la población *A. salmiana*. Con una concentración inhibitoria para *A. durangensis* de $0.08 \pm 0.02 \mu\text{g EAA} \cdot \text{mL}^{-1}$ extracto seco, mientras que para *A. salmiana* $0.12 \pm 0.03 \mu\text{g EAA} \cdot \text{mL}^{-1}$ extracto seco.

Actividad bloqueadora del radical catiónico ABTS

En el cuadro 4 se puede observar un mejor comportamiento de la actividad bloqueadora de la población de referencia (*A. salmiana*) con respecto a la población analizada (*A. durangensis*). Con una EC_{50} para *A. durangensis* de $0.37 \text{ mg epicatequina (mg} \cdot \text{mL}^{-1})$ extracto seco ± 0.01 y para *A. salmiana* EC_{50} $0.39 \text{ mg epicatequina (mg} \cdot \text{mL}^{-1})$ extracto seco ± 0.001 .

Análisis de correlación de pruebas de contenido fenólico y la capacidad antioxidante

El análisis mostró una correlación entre el contenido de fenoles totales y el contenido de flavonoides totales ($r=0.874$), lo que indica que al haber mayor cantidad de compuestos fenólicos, su contenido de flavonoides también será mayor de acuerdo con Medina-Medrano *et al.*, (2015), así como una correlación entre la capacidad antioxidante total y el contenido de fenoles totales siendo esta de $r=0.762$, como entre el contenido de flavonoides totales y el poder reductor de los extractos ($r=0.866$), y la capacidad antioxidante determinada con ABTS ($r=0.920$).

Barriada-Bernal *et al.*, (2014) sugirieron que el antioxidante potencial de un extracto total, depende no sólo de la cantidad de compuestos fenólicos presentes en ella, sino también de los tipos de compuestos fenólicos acumuladas, sus proporciones, así como la presencia de compuestos de diferente naturaleza química.

CONCLUSIONES

El método de extracción de ADN utilizado permitió obtener este mismo en cantidad y calidad adecuadas para emplearse en análisis SSR de poblaciones de *A. durangensis* y *A. salmiana*. Los marcadores SSR utilizados para este estudio fueron polimórficos en las dos especies de *Agave* analizados. Los marcadores SSR pueden ser útiles para la tipificación individual, poblacional y específica del género *Agave*. Las comparaciones realizadas en este estudio entre las especies de *A. durangensis* y *A. salmiana* seleccionadas, indican que existe una alta variabilidad genética intra e interespecífica entre ellas. La tipificación con SSR puede aplicarse para la determinación variaciones genéticas intra e inter-poblacionales en especies de *Agave*, pues son marcadores codominantes y altamente polimórficos, además de su uso en análisis de diversidad e identidad genética. Los resultados de este trabajo brindaron información importante sobre la composición fenólica y genética de *A. durangensis* y *A. salmiana*, con lo cual se espera contribuir a aprovechar de una manera sustentable estos recursos naturales, conservando sus poblaciones silvestres. Los extractos crudos de tejido foliar de *A. durangensis* y *A. salmiana* mostraron menor capacidad



antioxidante y contenido fenólico, comparada con la población de referencia (*A. salmiana*), esto se puede deber a el alto grado de explotación.

LITERATURA CITADA

- Almaraz-Abarca, N., M. G. Campos, J. A. Ávila-Reyes, N. Naranjo-Jiménez, J. Herrera-Corral and L. S. González-Valdez. 2004. Variability of antioxidant activity among honeybee-collected pollen of different botanical origin. *Interciencia* 29:574-578.
- Andrews, A. 1991. Electrophoresis of Nucleic Acids. *Essential Molecular Biology. A practical Approach Series*. IRL PRESS 1:89-126.
- Arizaga, S. and E. Ezcurra. 2002. Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. *American Journal of Botany*, 89(4): 632-641.
- Barriada-Bernal, L. G., N. Almaraz-Abarca, E. A. Delgado-Alvarado, T. Gallardo-Velázquez, J. A. Ávila-Reyes, M. I. Torres-Morán, M. González-Elizondo and Y. Herrera Arrieta. 2014. Flavonoid composition and antioxidant capacity of the edible flowers of *Agave durangensis* (Agavaceae). *CyTA-Journal of Food* 12(2): 105–114
- Campos, M. G. 1997. Caracterização do pólen apícola pelo seu perfil em compostos fenólicos e pesquisa de algumas actividades biológicas. Tesis de doctorado. Universidade de Coimbra, Portugal. 318 p.
- Campos, M. G., K. R. Markham and A. Proença da Cunha. 1997. Quality assessment of bee-pollen using flavonoid/phenolic profiles. *Polyphenol Communications* 96:53-54.
- Demey, J. R., E. Gamez, S. Molina and D. Infante. 2004. Comparative study of the discriminating capacity of AFLP and ISTR markers for genetic analysis of *Agave fourcroydes*. *Plant Molecular Biology* 22: 29-35.
- Garcia, A. 2002. Distribution of *Agave* (Agavaceae) in México. *Cactus and Succulent Journal* 74: 177-187.
- García-Mendoza A. and Galván R. 1995. La Riqueza de la Familia Agavaceae Nolinaceae en México. In: E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elias (eds.). *Conservación de Plantas*. UNAM, México. pp. 7-24.
- Gentry H. 1982. *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press. USA.
- Gil-Vega, K., C. Díaz, A. Nava-Cedillo and J. Simpson. 2006. AFLP análisis of *Agave tequilana* varieties. *Plants Science* 170: 94-909.
- Good-Avila, S. V., V. Souza, B. S. Gaut and L. E. Eguiarte. 2006. Timing and rate of speciation in *Agave* (Agavaceae). *Proceedings of the National Academy of the United States of America* 103:9124-9129.
- González-Elizondo, M., R. Galván-Villanueva, I. L. López-Enriquez, L. Reséndiz-Rojas y M.S. González-Elizondo 2009. *Agaves -magueyes, Lechuguillas y noas- del Estado de Durango y sus alrededores*. CIIDIR Unidad Durango Instituto Politécnico Nacional-CONABIO. Durango, Dgo. 163 pp.
- Hoelzel A. and Green A. 1994. Analysis of Populations Level Variation by Sequences PCR Amplified DNA. In: A. Hoelzel (ed.). *Molecular Genetic Analysis of Populations, A Practical Approach*. IRL Press, Oxford. pp. 159-188.



- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. Anuario estadístico Durango. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno de Estado de Durango. (Consultado: 06/04/2016). Disponible en: http://buscador.inegi.org.mx/search?q=anuario&client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=meta:edicion:D:E::D&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=260
- Infante D., G. González, L. Peraza and M. Keb-Llanes. 2003. Asexual Genetic Variability in *Agave fourcroydes*. Plant Science 164: 223-230.
- Keb-Llanes, M., G. González, B. Chi-Manzanero and D. Infante. 2002. A Rapid a Simple Method for Small Scale DNA Extraction in Agavaceae and Other Tropical Plants. Plant Molecular Biology Report 20(3): 299-300.
- Martínez-Palacios, A., L. E. Eguiarte and G. R. Furnier. 1999. Genetic diversity of the endangered endemic *Agave victoria-reginae* (Agavaceae) in the Chihuahuan Desert. American Journal of Botany 86(8): 1093-1098.
- Navarro-Quezada, A., R. González-Chauvet, F. Molina-Freaner and L. E. Eguiarte. (2003). Genetic differentiation in the Agave desert (Agavaceae) complex of the Sonoran Desert. Heredity 90(3): 220-227.
- Nei, M. 1987. Molecular Evolutionary Genetics. Columbia University Press. New York. 512p. ISBN: 0231063210, 9780231063210.
- Nurmi, K., V. Ossipov, E. Haukioja and K. Pihlaja. 1996. Variation of total phenolic content and low-molecular-weight phenolics in foliage of the mountain birch trees (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*). Journal of Chemical Ecology 22: 2033-2050.
- Ortega-Chávez, M. A. 2009. Variabilidad de fenoles foliares de *Agave duranguensis*. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. D. F., México. 66 p.
- Rocha-Guzmán, N. E., J. A. Gallegos-Infante, R. F. González-Laredo, R. Reynoso-Camacho, M. Ramos-Gómez, T. García-Gasca, M. E. Rodríguez-Munoz, S. H. Guzmán-Maldonado, L. Medina-Torres and B. A. Lujan-García. 2009. Antioxidant activity and genotoxic effect on HeLa cells of phenolic compounds from infusions of *Quercus resinosa* leaves. Food Chemistry 115:1320-1325.
- Rocha M., A. Valera and L. Eguiarte. 2005. Reproductive Ecology of Five Sympatric Agave Litteae (Agavaceae) Species in Central Mexico. American Journal of Botany 92: 1330-1341.
- Rocha, M., S. V. Good-Ávila, F. Molina-Freaner, H. T. Arita, A. Castillo, A. García-Mendoza, A. Silva-Montellano, B. S. Gaut, V. Souza and L. E. Eguiarte. 2006. Pollination biology and adaptative radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus Agave. Aliso 22: 327-342.
- Sambrook, J., F. E. Fritsch and T. Maniatis. 1989. Molecular Cloning: A Laboratory Manual Vol. 1. 2° Ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press. 34 p.
- Valenzuela-Ruiz, J., O. Velasco y M. Márquez. 2003. Desarrollo Sustentable del Agave Mezcalero en Durango. SEP, CIIDIR-IPN-Durango, SAGDR. México. 116 p.



EFFECTO DE LOS FRUCTANOS DE AGAVE SOBRE PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS Y METABÓLICOS EN RATONES DIABÉTICOS

[EFFECT OF AGAVE FRUCTANS ON HEMATOLOGIC AND BIOCHEMICAL PARAMETERS IN DIABETIC MICE]

María José Hernández Granados¹, Joel Ramírez Emiliano², José Mario Mendoza Carrillo¹, Alicia del Rosario
Martínez Yáñez¹, Elena Franco Robles^{1§}

¹Departamento de Veterinaria y Zootecnia. Campus Irapuato-Salamanca. División de Ciencias de la Vida. Universidad de Guanajuato. Ex Hacienda El Copal, Km. 9. Carretera Irapuato-Silao A.P. 311. C.P. 36500. Irapuato, Guanajuato. ²Departamento de Ciencias Médicas. Campus León. División de Ciencias de la Salud. Universidad de Guanajuato. (majogranados@outlook.com, joelre@ugto.mx, jmmendoza4@gmail.com, rosariomtz@gmail.com).

[§]Autor para correspondencia: (e.franco@ugto.mx).

RESUMEN

La diabetes tipo 2 es considerada una enfermedad metabólica recientemente diagnosticada en animales. Se ha sugerido que los fructanos pueden tener repercusión en esta patología. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de los fructanos de agave sobre parámetros hematológicos y metabólicos en ratones diabéticos y controles. Se utilizaron 20 ratones hembras, 10 de la cepa C57BL/6 y 10 de la cepa db/db. Se formaron dos grupos controles (1,sano y 3,diabético) y dos grupos con tratamiento de fructanos de *Agave tequilana* al 10% (2,sano y 4,diabético) durante 8 semanas. Los ratones fueron pesados una vez a la semana así como las excretas por grupo y se registró el alimento y bebida consumidos diariamente. De la sangre total se analizó la cuenta de eritrocitos, leucocitos y diferencial de leucocitos, hematocrito, hemoglobina, glucosa, triglicéridos y colesterol. Nuestros resultados muestran que los ratones del grupo 2 y 4 disminuyeron su ingesta de alimento (12.5 ± 0.6 g; 26.7 ± 1 g, $p < 0.01$) respecto a los grupos 1 y 3 (15.6 ± 0.84 g; 32.3 ± 1.8 g) y la ingesta de agua (20.4 ± 0.6 mL; 35.6 ± 1 mL; $p < 0.01$) respecto a los grupos 1 y 3 (22.9 ± 1.8 mL; 41.8 ± 0.6 mL). El grupo 4 tuvo una menor excreción (139.9 ± 7.1 g; $p < 0.01$) respecto a su control (178.1 ± 7.1 g). Además, se observaron cambios significativos en los parámetros hematológicos por el efecto de los fructanos en el grupo diabético con tratamiento. Los fructanos de agave atenúan los signos clínicos de la diabetes, polifagia, poliuria y polidipsia a través del control de la hiperglucemia, lo que sugiere que puedan funcionar como un tratamiento alternativo en esta patología.

Palabras clave: diabetes, polifagia, poliuria, prebióticos, polidipsia.

ABSTRACT

Type 2 diabetes is a metabolic disease commonly diagnosed in animals. It has been suggested that fructans may have repercussions on this pathology. The aim of this study was to determine the effect of agave fructans on hematological and metabolic parameters in diabetic and control mice. Twenty female mice, 10 of the C57BL/6 strain and 10 of the db/db strain were used. Two



control groups (1, healthy and 3, diabetic) and two groups with fructan treatment of *Agave tequilana* 10% (2, healthy and 4, diabetic) were formed for 8 weeks. Mice were weighed once a week as well as excreta and food and drink consumed daily by the group. From the total blood were analyzed erythrocyte count, leukocytes and leukocyte differential, hematocrit, hemoglobin, glucose, triglycerides and cholesterol. Our results show that the group 2 and 4 mice decreased their food intake (12.5 ± 0.6 g, 26.7 ± 1 g, $p < 0.01$) with respect to 1 and 3 (15.6 ± 0.84 g, 32.3 ± 1.8 g) and water intake (20.4 ± 0.6 mL, 35.6 ± 1 mL, $p < 0.01$) compared to 1 and 3 (22.9 ± 1.8 mL, 41.8 ± 0.6 mL). The group 4 had a lower excretion (139.9 ± 7.1 g, $p < 0.01$) than control (178.1 ± 7.1 g). In addition, significant changes in haematological parameters were observed by the effect of fructans in the diabetic group with treatment. The Agave fructans attenuate the clinical signs of diabetes, polyphagia, polyuria and polydipsia through the control of hyperglycemia, suggesting that it works as an alternative treatment in this pathology.

Index words: diabetes, polyphagia, poliuria, prebiotics, polidipsia.

INTRODUCCIÓN

La diabetes tipo 2 es una patología que puede presentarse tanto en humanos como en animales. En animales ha sido reconocida en diversos mamíferos, tanto domésticos como ganado y animales en cautiverio, pudiendo ser inducida también de manera experimental (Arias-Díaz y Balibrea, 2007). La hiperglucemia crónica es un signo característico de esta patología, ya que existe un defecto en la secreción de insulina, su acción o ambas. Las alteraciones en el metabolismo de grasas y proteínas, igual que la hiperglucemia, se pueden presentar. Cuando la hiperglucemia se presenta durante un largo tiempo se asocia a daño, disfunción y fallo de varios órganos y sistemas, en especial en riñones, ojos, nervios, corazón y vasos sanguíneos (Rojas *et al.*, 2012).

Los signos clásicos de diabetes son la poliuria, polidipsia y polifagia. Cuando la glucemia sobrepasa el nivel renal de eliminación, determina y condiciona la eliminación de glucosa por la orina, el exceso de glucosa eliminada exige el aumento del líquido de dilución y esto determina la poliuria, la pérdida de agua por su lado provoca la polidipsia. Por otra parte, la utilización insuficiente de la glucosa por los tejidos como material energético obliga al organismo a recurrir a otras sustancias, consumiendo las reservas de lípidos y aumentando el apetito, lo que deriva en la polifagia (Otero *et al.*, 2006). Además, la obesidad en la diabetes está asociada con un proceso de inflamación crónica de bajo grado en la grasa visceral. Esto se da por una resistencia a la insulina producida por las citocinas inflamatorias y los ácidos grasos, ya que las señales activadas en el proceso inflamatorio inhiben las vías de señalización de la insulina. Existe una gran coordinación entre las vías metabólicas e inflamatorias en esta patología (Miranda-Garduño y Reza-Albarrán, 2007).

Por otra parte, se ha sugerido que los fructanos, carbohidratos no digeribles que provienen principalmente de plantas, pueden tener repercusión en patologías metabólicas como obesidad y diabetes. En particular, el Agave, que almacena fructanos como su principal carbohidrato de



reserva (Mellado-Mojica y López-Pérez., 2013). El principal efecto benéfico de los fructanos es el prebiótico al modificar selectivamente la microbiota intestinal (Urías, 2008); además se le han atribuido otras funciones benéficas sobre la disponibilidad de minerales, el sistema inmune y el perfil de lípidos y como antioxidante (Franco-Robles y López, 2015).

Los productos que contienen fructanos, al ser consumidos, son fermentados en el tracto gastrointestinal por la microbiota benéfica, que generan ácidos grasos de cadena corta (SCFA, por sus siglas en inglés) en el colon, siendo los principales acetato, butirato, lactato y gases como producto del metabolismo anaerobio. Los SCFA han demostrado tener efecto en la regulación de los niveles de glucosa en sangre, elevar la concentración del péptido similar al glucagón tipo-1 (GLP-1), estimular la saciedad, mejorar el perfil lipídico en sangre, incrementar la concentración de insulina, así como, la neogénesis de células β en el páncreas (Delzenne *et al.* 2007). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de los fructanos de Agave sobre parámetros hematológicos y metabólicos, ingesta de alimento, ganancia de peso y excretas en ratones C57BL/6 y ratones db/db.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales experimentales

Se realizó un estudio experimental comparativo en donde se utilizaron ratones adultos hembras de la cepa C57BL/6 y db/db de 20 semanas de edad. Los ratones se mantuvieron en un ambiente libre de patógenos, bajo condiciones estándar de temperatura, humedad y comida y agua *ad libitum*. Este estudio se llevó a cabo en el bioterio del Departamento de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato.

Fructanos de agave

Los fructanos de agave fueron provistos por la empresa Mielles Campos Azules (Amatitlán, Jalisco). El producto es una mezcla polidispersa de diversos grados de polimerización con 98% de pureza, extraídos del *Agave tequilana* Weber var. Azul y desecados posteriormente hasta obtener un polvo fino blanco soluble en agua. Se preparó una solución al 10% con agua potable estéril, la cual se les proporcionó como agua de bebida *ad libitum* a los ratones de los grupos de tratamiento.

Diseño experimental

Los ratones se dividieron en cuatro grupos de cinco ratones cada uno: el grupo 1, ratones control alimentado con una dieta normal de mantenimiento (19% proteína, 9% grasa, PicoLab Rodent 5053, Labdiet), el grupo 2, ratones control con tratamiento, el grupo 3, ratones diabéticos; el grupo 4, ratones diabéticos con tratamiento. A todos los animales se les dio un periodo de adaptación de 7 días previo al inicio del estudio. Todos los días se les proporcionó agua y alimento *ad libitum*. Los ratones se pesaron una vez a la semana y el consumo de alimento y agua



se midieron diariamente. Se colectó sangre completa al inicio y al final del estudio para las determinaciones a realizar, posteriormente a los ratones se les dio muerte (eutanasia) en base a las consideraciones éticas.

Consideraciones éticas

Los ratones fueron mantenidos, tratados y confinados con base a los lineamientos que establece la NOM-062-ZOO-1999 en un ambiente estándar de luz-oscuridad y temperatura ambiente. La sangre fue colectada de la vena caudal. La eutanasia de los ratones se realizó mediante dislocación cervical. El protocolo fue aprobado previamente por el Comité de Ética Institucional.

Análisis de la ingesta de alimento, agua, viruta de aserrín y ganancia de peso

Cada 24 h se les colocó alimento nuevo y se retiró el sobrante. El alimento consumido se calculó en base a la siguiente fórmula: $P_{AI} = P_0 - P_S$. Donde: P_{AI} es el peso del alimento ingerido, P_0 es el peso del alimento nuevo y P_S es el peso del alimento sobrante. De igual manera, se calculó el consumo de agua, reportándola en mililitros. Por otra parte, los ratones de los 4 grupos fueron pesados una vez a la semana para monitorizar la ganancia de peso corporal (g). Así como las excretas contenidas en la viruta de aserrín (g).

Toma de muestras de sangre

Se colectaron 100 μ de sangre de la vena caudal al inicio y final del experimento, en microtubos con y sin EDTA. Además se tomó sangre directamente con un tubo capilar para el análisis de hematocrito y directamente en las tiras reactivas para medición de glucosa, triglicéridos y colesterol.

Determinación de glucosa, triglicéridos y colesterol

La determinación de glucosa, triglicéridos y colesterol en sangre completa se realizó mediante tiras reactivas y espectrofotómetro (D-68298, Accutrend ® Plus, Roche). EL resultado presentado se describe en unidades de $\text{mg} \cdot \text{dL}^{-1}$.

Análisis de parámetros hematológicos

Determinación de hematocrito

La determinación de hematocrito se realizó mediante el micrómetodo con tubos capilares descrito por Goldenfarb *et al.*, con ligeras modificaciones (Goldenfarb *et al.* 1971). Brevemente, se tomó sangre con un capilar con heparina, directamente de la vena caudal del ratón realizando una ligera incisión en la cola. Posteriormente, el capilar se selló con plastilina por el extremo opuesto y se centrifugó a 12,000 rpm durante 10 min en una centrífuga 9 de Hematocrito CHK-24 (Desego, México). El resultado se obtuvo a través de la lectura en una escala en porcentaje.



Conteo de leucocitos y eritrocitos

El recuento de eritrocitos se realizó de manera manual, utilizando una dilución 1:20 en líquido de Hayem, mientras que para el recuento de leucocitos se utilizó una dilución 1:10 en solución de Turk. La cuenta se realizó a través de la cámara Neubauer, visualizándose al microscopio con el objetivo de 40X. Se calculó el número de eritrocitos y leucocitos por mm^3 .

Conteo diferencial de leucocitos

Se determinó mediante el número de cada tipo de célula blanca presente en la sangre por medio de un frotis sanguíneo o extendido sanguíneo, el cual posteriormente se tiñó con tinción de Wright, fijado con un buffer pH 7.0 y finalmente observándose a 100X en el microscopio (Leica DM500). Se contaron 100 leucocitos y se registró el número correspondiente a cada tipo de célula (neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos y basófilos) en un contador de leucocitos digital, tomando como número total de estos al cien.

Determinación de hemoglobina

La hemoglobina se determinó mediante el método de la cianometahemoglobina de Drabkin (Spinreact) y se determinó la lectura a una longitud de onda de 540 nm con un analizador fotométrico universal (EasyKem Plus).

Análisis estadístico

Los datos evaluaron mediante la prueba de ANOVA para evaluar si existe diferencia significativa entre los grupos. Se utilizó una prueba post hoc de Tukey para encontrar cuales grupos son diferentes. Los datos se presentan como media $\pm$ error estándar. Se consideró una $p < 0.05$ como significativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los fructanos de agave sobre la ganancia de peso, ingesta de alimento y bebida y excretas

El tratamiento con fructanos no modificó la ganancia de peso en los dos grupos de tratamiento (2 y 4) respecto a sus controles (1 y 3). Sin embargo, los ratones sanos con tratamiento disminuyeron su ingesta de alimento (12.5 ± 0.6 g) respecto al grupo control (15.6 ± 0.8 g; $p < 0.01$), de la misma manera los ratones diabéticos administrados con fructanos (26.7 ± 1.0) de manera estadísticamente significativa respecto a sus controles (32.3 ± 0.8 g; $p < 0.01$). Se observó el mismo efecto en la bebida, ya que los ratones de los grupos con tratamiento (20.4 ± 0.6 mL; 35.6 ± 1 mL) disminuyeron la ingesta de bebida de manera estadísticamente significativa respecto a sus controles (22.9 ± 1.8 mL; 41.8 ± 0.6 mL; $p < 0.01$). En el caso de las excretas hubo una disminución estadísticamente significativa entre el grupo 4 (139.9 ± 7.1 g) respecto a su grupo control (178.1 ± 7.1 g; $p < 0.01$).

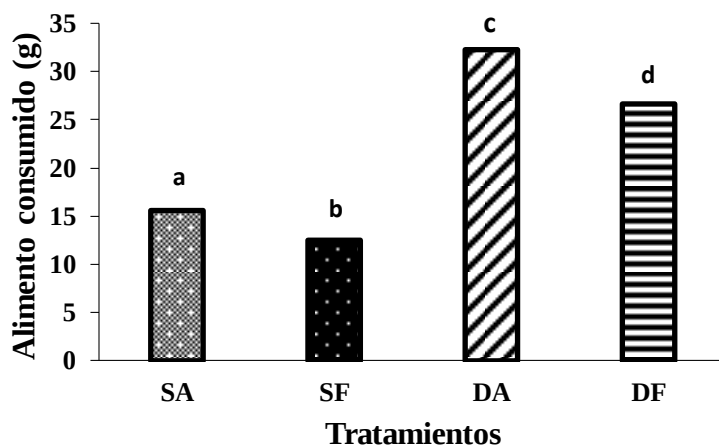


Figura 1. Efecto de los fructanos en el consumo de alimento en animales sanos sin tratamiento (SA), sanos con tratamiento (SF), diabéticos sin tratamiento (DA) y diabéticos con tratamiento (DF). En todos los grupos la $n=5$. Se realizó ANOVA de una vía y poshoc de Tukey. Los datos se representan como la media $\pm$ EE. Las letras diferentes representan la diferencia significativa entre los grupos, $p < 0.05$.

Respecto a la ganancia de peso, nuestros resultados concuerdan con lo publicado por Rendón-Huerta (2009) en donde evaluaron el efecto de los fructanos en ratas obesas sanas y obesas diabéticas, observando que en todos los grupos el tratamiento no modificó la ganancia de peso. Como se mencionó, los fructanos al ser consumidos son fermentados generando SCFA, los cuales elevan la concentración de un péptido similar al GLP-1 y estimulan la saciedad. Esto podría explicar la disminución significativa de consumo de alimento en el estudio, de igual manera Turton *et al.* (1996) demostró que a medida que aumentaba la concentración de GLP-1, disminuía de manera progresiva el consumo de alimento, coincidiendo con el estudio de Urías (2008), realizado con ratones machos de la cepa C57BL/6J, en el cual la suplementación de la dieta con fructanos disminuyó la ingesta de alimento y las excreciones en comparación con la dieta sin fructanos. La disminución de excreción se asocia directamente a la disminución en el consumo de agua.

Variación del perfil bioquímico por los fructanos de agave

El tratamiento con fructanos de agave no modificó significativamente los niveles de glucosa de los grupos con tratamiento (150.8 ± 21.0 mg·dL⁻¹; 316.2 ± 62.4 mg·dL⁻¹) respecto a los grupos control (134.4 ± 17.6 mg·dL⁻¹; 350 ± 175.4 mg·dL⁻¹), de igual forma no se modificaron significativamente los niveles de colesterol entre los grupos con tratamiento (148.4 ± 49.5 mg·dL⁻¹; 147 ± 48.6 mg·dL⁻¹) respecto a sus grupos control (166.6 ± 5.4 mg·dL⁻¹; 169.3 ± 7.4 mg·dL⁻¹). Los niveles de triglicéridos se disminuyeron un 31.6% con el tratamiento en el grupo 4 (154.6 ± 56.9 mg·dL⁻¹) respecto a su grupo control (226.1 ± 89.6 mg·dL⁻¹) y un 27.3% del grupo 2 (79.0 ± 32 mg·dL⁻¹) respecto a su grupo control (108.7 ± 29.7 mg·dL⁻¹).



Al respecto, los efectos de los fructanos sobre la glucemia no están completamente elucidados, y los datos publicados son contradictorios, indicando que estos efectos pueden depender de condiciones fisiológicas, como el estado de ayuno o el estado postprandial (De la Plaza *et al.* 2013). Acorde a nuestros resultados, un estudio en ratas obesas diabéticas observó que la glucosa no disminuyó significativamente con el tratamiento de fructanos (Rendón-Huerta, 2009), esto puede deberse a que el desorden metabólico que comúnmente se presentan en la diabetes depende del consumo de energía en los alimentos, y del desequilibrio entre el consumo y el aporte de energía como consecuencia de la obesidad (Marti *et al.*, 2004).

En el estado postprandial, las concentraciones de glucosa en sangre se vieron disminuir en los ratones alimentados con fructanos, según indica el estudio realizado por Urías (2008). Según Rubio (2010), en el estudio realizado en humanos, los fructanos no tienen efecto alguno sobre la alteración en los niveles plasmáticos de glucosa en la diabetes, igual que De Luis *et al.* (2010) menciona que las variaciones de glucosa en sangre no fueron estadísticamente significativas.

El colesterol, al igual que la glucosa, no se modifica por el tratamiento. Estos resultados nuevamente concuerdan con los obtenidos por Rendón-Huerta (2009) en donde no observaron efecto del tratamiento sobre las concentraciones de colesterol en ratas obesas diabéticas, no obesas y no obesas diabéticas. Aunque según Urías (2008) la reducción en las concentraciones de colesterol fue de aproximadamente 20% en los animales que recibieron la dieta suplementada con fructanos independientemente del grupo.

En lo que respecta a los triglicéridos, el estudio demuestra una disminución del 31.6% en el grupo de ratones obesos diabéticos, coincidiendo con el estudio de Rendón-Huerta (2009) donde en las ratas obesas diabéticas se observó una disminución significativa. Por el contrario, Han *et al.* (2000) no se encontró diferencias significativas en las concentraciones de colesterol y triglicéridos, donde evaluaron el efecto de fructanos en ratones adultos.

Porcentaje de hematocrito con tratamiento de fructanos de agave

El tratamiento con fructanos disminuyó de manera estadísticamente significativa el porcentaje de hematocrito en los grupos que consumieron el tratamiento ($47.7 \pm 3.65\%$; $51.6 \pm 2.8\%$) respecto a sus grupos control ($54 \pm 2.8\%$; $59.2 \pm 1.9\%$; $p < 0.01$).

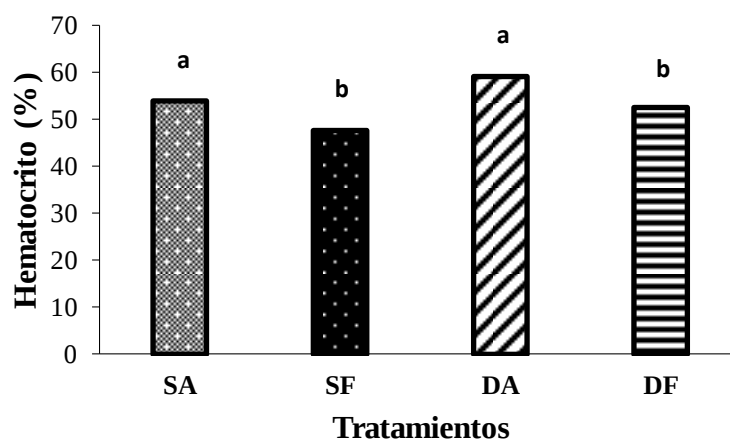


Figura 2. Efecto de los fructanos en el porcentaje de hematocrito en animales sanos sin tratamiento (SA), sanos con tratamiento (SF), diabéticos sin tratamiento (DA) y diabéticos con tratamiento (DF). En todos los grupos la $n=5$. Se realizó ANOVA de una vía y poshoc de Tukey. Los datos se representan como la media $\pm$ EE. Las letras diferentes representan la diferencia significativa entre los grupos, $p < 0.05$.

Una de las complicaciones agudas de la diabetes es la hemoconcentración (Villanueva, 2003), esto se puede deber a la deshidratación común en esta patología. Según Anderson *et al.* (2000), los estudios hematológicos en ratas machos revelar una disminución a los 92 días de tratamiento con fructanos en el hematocrito, al igual que el estudio en hembras. Lo cual coincide con los resultados obtenidos, disminuyendo significativamente el hematocrito a las 8 semanas de tratamiento.

Los fructanos de agave disminuyen la leucocitosis en sangre

El tratamiento con fructanos no modificó en número de eritrocitos en los dos grupos de tratamiento (2 y 4) respecto a sus controles (1 y 3). Sin embargo, el número de leucocitos disminuyó un 42% con el tratamiento en el grupo 4 (2139 ± 152.8 leucocitos $\cdot$ mm $^{-3}$) respecto a su grupo control (3735 ± 100.8 leucocitos $\cdot$ mm $^{-3}$). Según Campos (2012), la mayoría de los pacientes con diabetes presentan un 40% de leucocitosis. Según lo demostrado en este estudio, los fructanos de agave disminuyen de manera significativa la cuenta leucocitaria, concordando con el estudio en humanos de 3 meses de King *et al.* (2008), en el que relacionaron la ingesta de fructanos con la disminución de los indicadores de la inflamación. De igual manera, Kranewitter *et al.* (2009) demuestra que la administración de fructanos disminuye la cantidad de células blancas en un grupo de adultos mayores.

Alteración en el porcentaje diferencial de leucocitos por fructanos de agave

El tratamiento con fructanos de agave aumentó de manera estadísticamente significativa el porcentaje de neutrófilos en el grupo de ratones diabéticos con tratamiento ($73.75 \pm 4.7\%$)



respecto a su grupo control ($58.75 \pm 5.0\%$; $p < 0.01$). Por otro lado, hubo una disminución estadísticamente significativa del grupo 4 en el número de linfocitos ($16.5 \pm 4.6\%$) respecto a su grupo control ($32 \pm 3\%$; $p < 0.01$) y en el número de monocitos ($5.5 \pm 2.3\%$) respecto a su grupo control ($10.286 \pm 3.7\%$; $p < 0.05$). Sin embargo, el tratamiento con fructanos no modificó el porcentaje de eosinófilos y basófilos.

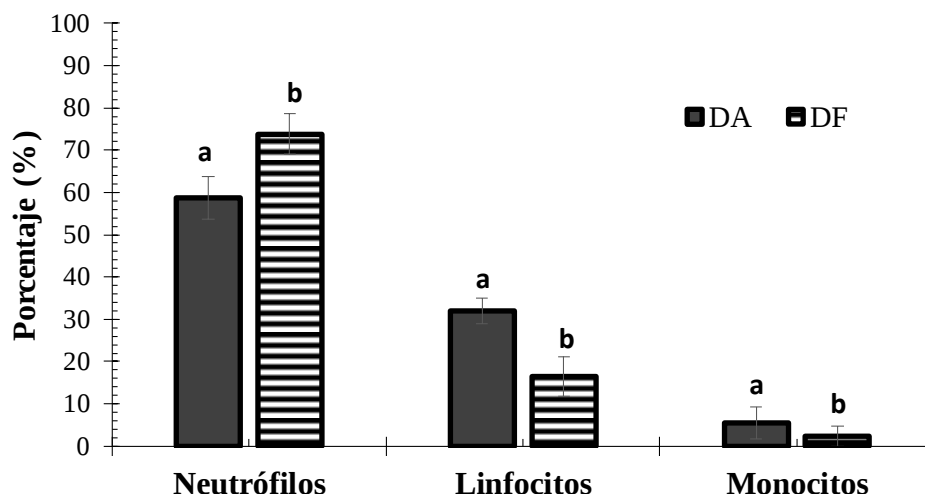


Figura 3. Efecto de los fructanos en el porcentaje de neutrófilos, linfocitos y monocitos en animales diabéticos sin tratamiento (DA) y diabéticos con tratamiento (DF). En todos los grupos la $n=5$. Se realizó ANOVA de una vía y poshoc de Tukey. Los datos se representan como la media $\pm$ EE. Las letras diferentes representan la diferencia significativa entre los grupos, $p < 0.05$.

La disminución de linfocitos y monocitos demuestra el efecto positivo de los fructanos ante el proceso inflamatorio generado por la diabetes, lo cual provoca que de manera simultánea se normalice el número de neutrófilos, dando como resultado una cuenta leucocitaria normal.

Efecto de los fructanos de agave sobre la hemoglobina

El tratamiento con fructanos no modificó los niveles de hemoglobina en los grupos con tratamiento (2 y 4) respecto a sus grupos control (1 y 3). Se demostró que no hubo cambio significativo en el recuento de glóbulos rojos, lo cual se manifiesta también en los niveles de hemoglobina no modificados. Por otro lado, Anderson *et al.* (2000) demostró en su estudio con ratas que la hemoglobina disminuyó significativamente a los 35 días de tratamiento con fructanos, mientras que a los 91 días el tratamiento no modificó significativamente los niveles. Campos (2012) no encontró diferencias significativas en los niveles de hemoglobina por el tratamiento.



CONCLUSIONES

La administración de fructanos de agave al 10% durante 8 semanas en ratones db/db y controles disminuyen significativamente la ingesta de alimento, efecto observado también en la bebida y en las excretas. También encontramos una disminución en los triglicéridos, hematocrito y leucocitos, específicamente linfocitos y monocitos. Con todo lo anterior, demostramos que el uso de fructanos de agave en la dieta logra mejorar la calidad de vida de los ratones, tanto diabéticos como sanos, gracias a la generación de ácidos grasos de cadena corta los cuales elevan la concentración de un péptido similar al glucagón tipo-1, el cual estimula la saciedad y mejoran el perfil lipídico en la sangre, además los fructanos ayudan a combatir el proceso inflamatorio, el cual inhibe las vías de señalización de la insulina, alteración importante en la diabetes tipo 2.

LITERATURA CITADA

- Anderson, R., C. Andersson, E. Gudmundsdottir, A. Halikainen. I. Knudser, H. Mejborn, J.E. Paulsen and M. Poulsen. 2000. Safety Evaluation of Fructans. Nordic Council of Ministers: Copenhagen.
- Arias-Díaz, J. y J. Balibrea. 2007. Modelos animales de intolerancia a la glucosa y diabetes tipo 2. *Nutrición Hospitalaria* 22(2): 160-168.
- Campos, N. D. 2012. Efecto de suplemento de fibra sobre indicadores de riesgo cardiovascular en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. Tesis de maestría. Facultad de Salud Pública y Nutrición, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Castor L. 2011. Inulina: Polisacárido con interesantes beneficios a la salud humana y con aplicación en la industria farmacéutica. *Infármate* 7(27): 99-106.
- De la Plaza, M., P. Llanos, M. S. Pelayo, B. Zugati y A. Zuleta. 2013. Hidratos de carbono, su implicancia en el tratamiento nutricional de diabetes. *Nutrición* 14(2): 88-107.
- De Luis D., B. De la Fuente, O. Izaola, R. Conde, S. Gutiérrez y M. Morillo. 2010. Ensayo clínico aleatorizado con una galleta enriquecida en inulina en el patrón de riesgo cardiovascular de pacientes obesos. *Nutrición Hospitalaria* 25(1): 53-59.
- Delzenne, N. M., C. Daubioul and A. Neyrinck. 2007. Modulation of glucagon-like peptide 1 and energy metabolism by inulin and oligofructose: experimental data. *The Journal of Nutrition* 137(11): 2547S-2551S.
- Franco-Robles, E. and M. G. López. 2015. Implication of Fructans in Health: Immunomodulatory and Antioxidant Mechanisms. *The Scientific World Journal* 2015.
- Goldenfarb P. B., F. P. Bowyer, E. Hall and E. Brosious. 1971. Reproducibility in the Hematology Laboratory: The Microhematocrit Determination. *American Journal of Clinical Pathology* 56 (1):35-39.
- Han L. K., B. J. Xu, Y. Kimura, Y. Zheng and H. Okuda. 2000. Platycodi Radix Affects Lipid Metabolism in Mice with High Fat Diet-Induced Obesity. *The Journal of Nutrition* 130: 2760-2764.
- King, D. E., B. M. Egan, R. F. Woolson, A. G. Mainous 3rd, Y. Al-Solaiman and A. Jesri. 2007. Effect of a high-fiber diet vs a fiber-supplemented diet on C-reactive protein level. *Archives of Internal Medicine* 167: 502-506.



- Kranewitter, M. C., M. Fuentes, A. Costamagna, A. Fabro, E. Theiller, K. Minella, C. Aró, V. Reus, M. F. Peretti, M. C. Giaugi, G. Pais, M. F. Wals, M. Rico, C. A. Promo, M. Rome, M. Arce, M. Grimaldi y N. Garnero. 2009. Beneficios de incorporar un simbiótico a la dieta de adultos mayores con infecciones recurrentes. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamerica* 43(4): 637-646.
- Marti, A., M. J. Moreno-Aliaga and J. Hejabrand. 2004. Genes, lifestyles and obesity. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders* 28: 28-36.
- Mellado-Mojica, E. y M. G. López-Pérez. 2013. Análisis comparativo entre jarabe de Agave Azul y otros jarabes naturales. *Agrociencia* 47 (3), 233-244.
- Miranda-Garduño, L. y A. Reza-Albarrán. 2007. Obesidad, inflamación y diabetes. *Gaceta Médica de México* 144, 39-45.
- Otero, J., A. M. Suárez, L. Céspedes y W. Reboredo. 2006. Diabetes mellitus, diagnóstico positivo. *Revista Cubana de Medicina General Integral* 22(1).
- Rendón-Huerta, J. A. 2009. Fructanos de maguey: efecto prebiótico y metabólico. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 92 p.
- Rojas, E., R. Molina y C. Rodríguez. 2012. Definición, clasificación y diagnóstico de la diabetes mellitus. *Revista Venezolana de Endocrinología y Metabolismo* 10: 26-27.
- Rubio M. A. 2010. Implicaciones de la fibra en diversas patologías. *Nutrición Hospitalaria* 17 (2): 17-29.
- Turton, M. D., D. O'Shea, I. Gunn, S. A. Beak, C. M. Edwards, K. Meeran, S. J. Choi, G. M. Taylor, M. M. Heath, P. D. Lambert, J. P. Wilding, D. M. Smith, M. A. Ghatei, J. Herbert and S. R. Bloom. 1996. A role for glucagon-like peptide-1 in the central regulation of feeding. *Nature* 379: 69-72.
- Urías, J. 2008. Efecto prebiótico de los fructanos de Agaves y Dayirion y su implicación en el metabolismo de glucosa y lípidos en ratones. Tesis de Doctorado, Centro de investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Irapuato, Guanajuato, México. 132 p.
- Villanueva, V. 2003. Complicaciones agudas de la diabetes mellitus. *Revista de posgrado de la vía cátedra de medicina* 130: 19-24.



METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL POTENCIAL AGROECOTURÍSTICO: CASO DEL MAGUEY Y EL MEZCAL, EN SANTIAGO MATATLÁN

[METHODOLOGY TO EVALUATE THE POTENTIAL AGRO-ECOTOURISM: CASE OF MAGUEY AND MEZCAL IN SANTIAGO MATATLÁN]

Héctor Santiago-Romero^{1§}, Roberto López-Pozos², José Luis Arcos-García¹

¹Profesor-Investigador, Instituto de Ecología. Universidad del Mar Campus Puerto Escondido. Ciudad Universitaria, Carretera Vía Sola de Vega, Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, México C.P. 71980. ²Profesor-Investigador, Instituto de Genética. Universidad del Mar Campus Puerto Escondido. Ciudad Universitaria, Carretera Vía Sola de Vega, Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, México C.P. 71980. (robertolopez62@hotmail.com, jarcos@zicatela.umar.mx). [§]Autor para correspondencia: (romero@zicatela.umar.mx).

RESUMEN

El agroecoturismo es una modalidad del turismo rural que busca la sustentabilidad de comunidades rurales; incluye actividades con características agrícolas, ecológicas y turísticas. En México, sus alcances han sido planteados recientemente y no existen referentes que permitan evaluar lugares susceptibles de desarrollar exitosamente esta combinación de actividades. En el verano y otoño del 2010, se realizó el estudio del potencial agroecoturístico de Santiago Matatlán, bajo la metodología IICA-OEA, que se fundamenta en el modelo FAS (Factores, Atractores y Sistema de soporte). El objetivo fue diagnosticar el potencial agroecoturístico de Santiago Matatlán, considerando el cultivo de maguey, la elaboración del mezcal (Producto de Identidad Territorial, PIT) y su entorno natural como atractivos agroecoturísticos. Un análisis FODA, demostró que Santiago Matatlán basándose de sus PIT y su entorno natural posee factores internos como externos favorables para desarrollar el agroecoturismo. La valorización de atractores, reveló que por estar situado en el Valle de Tlacolula está cerca varios atractivos turísticos de alta jerarquía. El estudio del sistema de soporte permitió conocer el perfil de turista. Se concluye que en Santiago Matatlán, el agroecoturismo podría ser una actividad viable para diversificar sustentablemente la elaboración del mezcal.

Palabras clave: Actividad económica, agroturismo, ecoturismo, metodología IICA/OEA, modelo FAS.

ABSTRACT

Agro-ecotourism is a modality of rural tourism that seeks the sustainability of rural communities; It includes activities with agricultural, ecological and tourist characteristics. In Mexico, its scope has been raised recently and there are no references that allow evaluating places that can successfully develop this combination of activities. In the summer and autumn of 2010, the study of the agroecoturistic potential of Santiago Matatlán was carried out, under the IICA-OAS methodology, which is based on the FAS model (Factors, Attractors and Support System). The



objective was to diagnose the agroecoturistic potential of Santiago Matatlán, considering the cultivation of maguey, the elaboration of mezcal (Product of Territorial Identity, PIT) and its natural environment as agroecoturistic attractions. A SWOT analysis showed that Santiago Matatlán based on its PIT and its natural environment has internal factors as favorable external factors to develop agro-ecotourism. The valuation of attractors, revealed that being located in the Valley of Tlaxolula is close to several tourist attractions of high hierarchy. The study of the support system allowed to know the tourist profile. It is concluded that in Santiago Matatlán, the agro-tourism could be a viable activity to diversify sustainably the production of mezcal.

Index words: economic activity, agro-tourism, ecotourism, IICA-OAS methodology, FAS model.

INTRODUCCIÓN

El turismo es un fenómeno social, cultural y económico que implica el movimiento de personas a lugares distintos en su entorno habitual para fines profesionales, empresariales o personales (United Nation, 2010). Con base a la actividad y el objetivo de visita, el turismo se clasifica en dos grupos: convencional y alternativo.

Es turismo convencional si los turistas utilizan servicios sofisticados y con características consumistas (Ibáñez y Rodríguez, 2012). Las playas, ciudades coloniales, monumentos históricos de grandes cultura son los lugares que entran en esta clasificación. Generalmente transforma el entorno del lugar y afecta negativamente la calidad del medio ambiente (SEMARNAT, 2009). Es turismo alternativo cuando los turistas participan en actividades recreativas con la naturaleza, admirando el patrimonio natural, cultural, social y comunitario del lugar que visitan (Ibáñez y Rodríguez, 2012). Dentro de este turismo, se le denomina turismo rural, cuando cualquier acercamiento directo y activo a la naturaleza se realiza exclusivamente en el medio rural.

El agroecoturismo es un enfoque del turismo rural que incluyen tanto actividades con características agrícolas como ecológicas en el desarrollo de las actividades turísticas en un territorio, es un concepto integrador y holístico, porque concibe el agroturismo y el ecoturismo como un todo; en virtud de que actualmente en muchas regiones del mundo, el paisaje de un territorio es un mosaico de terrenos agrícola con parches de vegetación natural o viceversa (Santiago-Romero, 2013). Asimismo, porque el agroecoturismo busca el desarrollo sustentable de un territorio, privilegiando el respecto a la naturaleza y la cultura de las comunidades rurales (Santiago-Romero, 2013). Este enfoque, se considera innovador en México y sus alcances han sido planteados recientemente (Santiago-Romero, 2013). Por ser reciente, existen pocos referentes que permitan valorar los territorios que son susceptibles de llevar a cabo esta combinación de actividades exitosamente.

En este trabajo se expone el caso de la comunidad de Santiago Matatlán para ilustrar una metodología que permita detectar las comunidades con potencial de desarrollar el agroecoturismo. El potencial agroecoturístico se define como la capacidad del espacio rural para



desarrollar actividades productivas primarias (agropecuarias) con otras de tipo secundarias (artesanales, agroindustriales) y terciarias (servicios turismo, servicios de conservación de la biodiversidad), a fin de impulsar la cultura y desarrollo local sustentable (Mikery *et al.*, 2013). Este pueblo se encuentra en el este de los Valles Centrales del estado de Oaxaca, que es más conocido como Valle de Tlacolula. Santiago Matatlán es un pueblo zapoteco considerado como “La capital mundial del mezcal”.

En la comarca de esta comunidad, predomina un clima seco, el paisaje natural es semidesértico, que por doquier se encuentran parchado por plantaciones rectilíneas de maguey (*Agave angustifolia* Haw.). El maguey es una planta xerofita de crecimiento lento, que crece de cinco a ocho años; pertenece a la familia de *Asparagaceae* Juss., y a la subfamilia *Agavoideae* Herb. En los paisajes rurales de Santiago Matatlán las plantaciones de maguey aparecen como líneas de plantas en forma de estrellas de color verde-azulado, enmarcados en un primer plano por cactus columnarios y grandes nopaleras, el segundo plano es un fondo lejano donde se dibujan las altas montañas de la Sierra Madre del Sur. De la destilación del zumo y bagazo del *agave angustifolia* se obtiene el mezcal que es un alcohol que se caracteriza por su sabor ligeramente quemante a tierra y a azúcar de maguey.

Antes de 2010, en la población de Santiago Matatlán no existían servicios turísticos relacionados directamente con el mezcal ni con el cultivo de maguey, a pesar de que era común ver algunos turistas aventurarse a recorrer los campos de maguey por iniciativa propia, cuando acuden a este pueblo para comprar el mezcal directamente en las fábricas artesanales. En las fábricas, embotelladoras y expendios de mezcal de esta comunidad, reina prosperidad y bienestar, pero dicha apariencia se acaba en la casa de los campesinos cultivadores del maguey, quienes tienen un índice de desarrollo humano de 0,627 (grado de desarrollo municipal medio bajo), es decir, reciben pocos beneficios económicos pesar del auge de mezcal en las últimas décadas, al grado que muchos jóvenes campesinos han migrado hacia los Estado Unidos (Pérez-Barroso, 2009).

Por lo anterior, se plantea que con emprendimientos agroecoturísticos los campesinos cultivadores de maguey de Santiago Matatlán, podrían ser partícipes de los beneficios económicos que trae consigo la industria del mezcal. Pero, según Blanco (2008), si bien el agroecoturismo es un fenómeno turístico que tiene como marco de realización el medio rural y que en los últimos años, viene impulsado por la valoración de los modos de vida tradicionales, la cada vez mayor conciencia ecológica y la necesidad del contacto con la naturaleza; no es el único remedio para solucionar los problemas que plantea el desarrollo rural, ni todos los territorios rurales tienen potencialidades reales para realizarlo exitosamente. La única forma de confirmar que un territorio posee verdaderamente un potencial para desarrollarlo y que justifique unas determinadas inversiones, es a través de una evaluación rigurosa que tenga en cuenta los atractivos del territorio, la oferta, la demanda, la competencia y las tendencias del mercado. Bajo todo este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial agroecoturístico de Santiago Matatlán, considerando el cultivo de maguey, la elaboración del mezcal (productos de identidad territorial, PIT) y su entorno natural como atractivos agroecoturísticos.



MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio del potencial agroecoturístico de la comunidad de Santiago Matatlán, fue forjado en el curso: “Agroecoturismo, Elementos Básicos para implementar un proyecto de turismo innovador”; impartido por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y la Organización de los Estados Americanos (OEA-IICA, 2008), durante el verano y otoño del 2010. La metodología IICA-OEA (OEA-IICA, 2008), para evaluar el potencial agroecoturístico de un territorio, es un diseño en donde se combinan técnicas de desarrollo territorial y de planeación estratégica con otras especializadas en turismo, como son evaluación de atractivos turísticos, la oferta y demanda de productos y servicios turísticos (Blanco, 2008). Esta metodología se apoya en el modelo FAS, cuyos componentes estructurales son: Factores, Atractores y Sistemas de soporte, este modelo fue desarrollado por el grupo europeo Eureka Com-Tur, en un proyecto de investigación de gestión de destinos turísticos; después fue propuesta por la Organización Mundial de Turismo como una herramienta de diagnóstico del potencial turístico de un territorio, (Fayos-Solà *et al.*, 2014). Esta metodología IICA-OEA para evaluar el potencial agroecoturístico de un territorio, está compuesto por los siguientes componentes: 1) Reconocimiento territorial (Factores); 2) Inventario y evaluación de atractivos turísticos (Atractores); 3) Análisis de la situación turística existente (Sistema de soporte).

Componente 1. Reconocimiento Territorial de Santiago Matatlán

El reconocimiento territorial de Santiago Matatlán, como proceso metodológico se realizó mediante una revisión bibliográfica buscando informes, estudios de proyectos con información relevante sobre el territorio de la comarca de Santiago Matatlán y del Valle de Tlacolula, se llevaron a cabo entrevistas a informantes calificados, se realizaron pláticas con las autoridades territoriales, líderes de organizaciones mezcaleras, empresarios comercializadores de mezcal y campesinos cultivadores del maguey. Los resultados así obtenidos, fueron analizados bajo el enfoque de un análisis multidimensional de territorio, en donde se contemplaron las dimensiones: ambiental, social, económica e institucional. El análisis multidimensional de un territorio, es un enfoque de desarrollo rural que permite analizar el marco general del territorio que se pretende intervenir, obteniendo así una visión global que ofrece claves y perspectivas necesarias para dirigir un plan de acción (Sepúlveda, 2008).

Las principales variables analizadas en la dimensión ambiental fueron las que están relacionadas con la geografía física y ecológica del territorio: orografía, tipos de suelos, clima, vegetación, flora, fauna, entre otros. La dimensión social tiene como referente a la población, principalmente a lo se refiere a sus formas de organización y participación en la vida comunitaria. Las variables que fueron analizadas son las que están relacionadas con descripción estadística de la población: número de habitantes, escolaridad, sexo, grupos étnicos, distribución espacial dentro del territorio, migración, inmigración y ocupación laboral. La dimensión económica analiza desde una perspectiva multisectorial la capacidad productiva y el potencial económico del territorio. En esta dimensión se valoraron la producción de bienes y servicios, cadenas productivas, mercados, uso de tecnologías, uso del suelo, pobreza, capital financiero y humano, entre otros. En la



dimensión institucional se considera la estructura y financiamiento del sistema político territorial; el sistema gubernamental, sistemas civiles o privados, organizaciones no gubernamentales, grupos de interés, entre otros. Las variables que se consideraron en esta dimensión fueron: el marco legal, las instituciones públicas y privadas presentes en el territorio, los actores sociales, las redes sociales, estructuras tradicionales y emergentes de participación ciudadana. En segundo lugar, derivado del análisis multidimensional del territorio, se elaboró una matriz FODA, en donde se identificaron las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas en relación al desarrollo agroecoturístico de la comarca de Santiago Matatlán y del Valle de Tlacolula.

La matriz FODA, es una herramienta comúnmente utilizada en empresas para la formulación y evaluación de estrategias de desarrollo, pero igualmente es aplicada a personas, regiones y países. Para los fines de diagnóstico agroecoturístico de Santiago Matatlán, las fortalezas y debilidades fueron los factores y los valores propios o internos de la comunidad y de la comarca de Santiago Matatlán. Las fortalezas son valores positivos, es decir, son aquellos factores, recursos o servicios sobre los cuales se tiene el control y que reflejan una ventaja ante otros territorios. Las debilidades afectan en forma negativa y directa el desempeño de la comarca de Santiago Matatlán, derivándose en malos productos y/o servicios. Mientras que las oportunidades y amenazas son factores que están fuera de control de la comunidad y de la comarca de Santiago Matatlán. Es decir, son factores que están presentes en el Valle de Tlacolula, en el estado de Oaxaca o en el país, por esa razón, las amenazas se consideran como factores externos de Santiago Matatlán.

Metodológicamente, el proceso para crear una matriz FODA se origina de una tabla con cuatro cuadrantes en donde se enlistan los factores que constituyen las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas. Después, se les asigna un peso de importancia según las propiedades del territorio que se evalúa. Una vez concluida la matriz FODA, se pueden establecer estrategias para potenciar las fortalezas, aprovechar las oportunidades, disminuir las debilidades y contrarlar las amenazas.

Componente 2. Inventario y evaluación de atractivos turísticos en la comarca de Santiago Matatlán y del Valle de Tlacolula

Para la evaluación turística de los atractivos de Santiago Matatlán y del Valle de Tlacolula, se empleó la evaluación de patrimonio turístico de un territorio desarrollada por CICATUR/OEA (OEA-IIICA, 2008; OEA-IIA. 2014). CICATUR es la sigla del Centro Interamericano de Capacitación Turística, que en décadas pasadas fue un centro asociado a la Organización de Estados Americanos (OEA). Como proceso metodológico se realiza una tabla analítica, en donde en la primera columna se clasifica los atractivos turísticos en dos categorías: naturales y artificiales. En la segunda columna, de acuerdo a sus características esenciales se especifica su naturaleza; la cual podría ser: montañas, planicies, volcanes, playas, arrecifes, caída de agua, grutas y cavernas, flora, fauna, parque nacionales, sitio de caza y pesca, entre otros (grupo patrimonio natural); sitios arqueológicos, sitios históricos, monumentos, museos (grupo patrimonio histórico), manifestaciones populares, feria, mercados, música, danza, gastronomía



(grupo patrimonio cultural y folclor), fincas agropecuaria, agroindustrias, procesamientos artesanales, obras de ingeniería remarcable, centros de investigación, jardines botánicos (grupo patrimonio técnico-artísticas), acontecimientos musicales, fiestas religiosas, ferias populares, vida nocturna, carnavales, exposiciones pecuarias, carnavales, entre otros (grupo acontecimientos programados).

En esta etapa, es importante buscar inventariar los cinco grupos de atractivos indicados entre paréntesis con la finalidad de apreciar la diversidad de atractivos de un territorio. En la tercera columna se presente una breve descripción de los atractivos. En la cuarta columna se califican los atractivos en función de su interés por los turistas y puede ser en central o complementaria. Como clase central se consideran los atractivos principales, que son aquellos que atrae al turista por sobre los demás. En clase complementaria, quedan los atractivos secundarios, pero que también son importantes porque contribuyen a diversificar la oferta de servicios (OEA-IICA, 2014).

Finalmente, en la quinta columna la metodología CICATUR /OEA, evalúa mediante una calificación jerárquica las características de los atractivos, en virtud del interés turístico que despierte y su radio geográfico de influencia. La calificación asignada a un atractivo debe ser muy objetiva, tomando en cuenta que los atractivos compiten con otros de misma tipología a nivel estatal, nacional e internacional. La máxima jerarquía son aquellos atractivos con calificación 5. De manera general, los atractivos de jerarquía de 3 a 5 son los que generan la mayoría de los desplazamientos turísticos internacionales y los de turistas nacionales de larga distancia, en cambio los atractivos de jerarquía 1 y 2 solamente tienen importancia a nivel local y regional.

Componente 3. Análisis de la situación turística existente (Sistema de soporte)

Según Cooper y Hall (2008) el mercado turístico implica oferentes y visitantes en un entorno de recursos. El análisis de esta situación para la comarca de Santiago Matatlán y Valle de Tlacolula se realizó mediante un estudio de mercado. El estudio de mercado permite apreciar la clientela potencial, particularmente el número de clientes o turistas, susceptibles de comprar los productos y/o los servicios desarrollados en un proyecto. Se consideró la segmentación como una técnica para definir el perfil de turista que estaría interesado o convendría vender los servicios agroecoturístico de Santiago Matatlán. Según Bigné *et al.* (2000), *la segmentación es un proceso de división del mercado en grupos de consumidores relativamente homogéneos respecto a algún criterio o característica como la edad, sexo, motivo del viaje, entre otros, a fin de desarrollar para cada uno de dichos grupos o segmentos, estrategias de marketing diferenciadas que ayuden a satisfacer sus necesidades de manera efectiva y a conseguir los objetivos comerciales de un proyecto de negocio.*

Como proceso metodológico, para realizar el análisis de la demanda y definir el perfil de turistas interesados en agroecoturismo, mediante entrevistas se buscó coleccionar los datos e información que cubriera los siguientes segmentos: 1) **Segmentación geográfica.** Los turistas fueron clasificados en unidades geográficas: país, estado/región, y población de procedencia; con



el fin de categorizarlos como nacional e internacional. 2). **Segmentación demográfica.** Se buscó conocer género, intervalos de edad y estado civil de los turistas interesados por los atractivos del Valle de Tlacolula, por lo que los turistas fueron clasificados bajo los criterios antes citados. 3) **Segmentación socioeconómica.** Se refiere a variables relacionados con el ingreso, ocupación y nivel de estudio. Las preguntas específicas fueron sobre ocupación, grado de escolaridad, así como el gasto realizado durante su estancia en el estado de Oaxaca. 4) **Segmentación psicográfica.** Se refiere al estilo de vida, por lo que se buscó conocer el estilo de vida de los turistas, mediante preguntas tales ¿Cómo organizó su visita?, ¿Qué tipo de hospedaje utiliza en sus viajes?, ¿En qué tipo de transporte viaja? 5) **Segmentación exploratoria,** en este caso el objetivo fue indagar sobre el conocimiento e interés de los turistas sobre del agroecoturismo como producto y servicios turísticos, mediante preguntas tales como: ¿Conoce usted el agroecoturismo?, ¿Le gustaría conocer el agroecoturismo mediante el cultivo de maguey?

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reconocimiento territorial

En relación al agroecoturismo, se identificaron y se analizaron las fortalezas y debilidades del entorno interno de la comarca de Santiago Matatlán, asimismo las oportunidades y amenazas presentes en el entorno externo; en este caso, el territorio que corresponde con el valle de Tlacolula y el estado de Oaxaca.

Fortalezas y debilidades

En la dimensión ambiental, se constató que la principal fortaleza es la belleza de los agro-paisajes, que en la comarca de Santiago Matatlán, están conformados por vegetación xerófila y plantaciones del maguey, en donde la estructura horizontal y vertical de esta composición vegetal, permiten desarrollar actividades al aire libre. La debilidad detectada fue la falta de formalidad y promoción en los servicios turísticos que se ofrecen para visitar estos agroecosistemas que son únicos, por el hecho de encontrarse en una comarca o microrregión con el clima seco más meridional de la República Mexicana.

En la dimensión social, la fortaleza apunta en que los pobladores de la comunidad de Santiago Matatlán, han conservado, la lengua y la cultura zapoteca en sus vivencias cotidianas. Asimismo, han conservado el patrimonio arqueológico, religioso, técnicas ancestrales de selección y cultivo del maguey (Feinman *et al.*, 2007) y técnicas artesanales de elaboración de mezcal. Todo lo anterior son atractivos que tienen gran demanda en el turismo alternativo. La principal debilidad detectada en esta dimensión fue la pérdida de identidad cultural en la población juvenil, la que se manifiesta por cierto desinterés hacia las manifestaciones sociales y culturales relacionadas con la comunidad.

En la dimensión económica se pudo observar que la ubicación de la comunidad de Santiago Matatlán con respecto a la capital del estado (50 km al este y sobre la carretera Panamericana), es



un factor que le permite tener alta competitividad con otros pueblos productores de mezcal en el estado de Oaxaca (Sola de Vega, San Luis Amatlán, San Dionisio Ocotepec, entre otros), ya que cumple con la distancia que permite una comunicación eficiente y frecuente, para que sea visitado por un mayor número de turistas que arriban a la ciudad capital. Asimismo, porque en un perímetro menor de 50 km de Santiago Matatlán se sitúan 6 atractivos de clase central (Cuadro 1). La principal debilidad fue un marketing deficiente en la presentación del cultivo de maguey y el mezcal como productos de identidad territorial de la comarca de Santiago Matatlán.

En la dimensión institucional destaca como fortaleza, el buen cuidado y manejo de la imagen del casco urbano de Santiago Matatlán, esto por iniciativa de las autoridades locales, en colaboración de algunos pobladores. En la comarca de Santiago Matatlán sobresale como debilidad la mala planificación y el mal estado de los caminos rurales y senderos que conducen a los campos agrícolas y a las áreas con vegetación natural.

Oportunidades y amenazas

En la dimensión ambiental, en el valle de Tlacolula la principal oportunidad que se detectó fue la existencia de una demanda de turismo de vivencia con actividades ecológicas. La principal amenaza detectada en este ámbito fue la falta de formalidad en las visitas ecoturísticas, dado que no existían rutas de senderos definidos, ni una valorización de la flora y fauna propios de esta región como atractivos turísticos.

En la dimensión social, se constató que el Valle de Tlacolula es considerado como uno de los principales destinos turísticos del estado de Oaxaca, y el turismo como una de las principales actividades económicas. La amenaza constatada fue, el constante arribo de colonos procedentes de otras partes de México y del mundo que progresivamente se apropian de los recursos naturales y de saber hacer asociado al cultivo de maguey y mezcal y desarrollan sus propias marcas y negocios.

En la dimensión económica se constató que en valle de Tlacolula no existe competencia en el turismo rural con énfasis hacia el cultivo de maguey ni con la vegetación xerofita; es decir, el agroecoturismo. La principal amenaza detectada fue la presencia de medianas y grandes empresas externas asociados al acaparamiento del maguey y el mezcal que podrían también acaparar el mercado agroecoturístico.

En la dimensión institucional, la principal oportunidad fue la incipiente planificación de las instituciones estatales y federales en la valorización económica de los atributos agroecológicos relacionados con el cultivo de maguey y la elaboración del mezcal. La principal amenaza fue la poca coordinación de las instituciones estatales y federales con las autoridades locales, en la valorización agroecoturística del valle de Tlacolula.

Inventario y evaluación de atractivos turísticos



Con base a la evaluación OEA/CICATUR, en el valle de Tlacolula, seis atractivos fueron clasificados de clase central y seis de clase complementaria. Bajo esta evaluación, los atractivos turísticos presentes en la comarca de Santiago Matatlán y en el valle de Tlacolula son 12 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Inventario de atractivos turísticos de la población de Santiago Matatlán, con base a la metodología CICATUR/OEA (OEA-IICA, 2008, OEA-IICA, 2014).

Categoría	Tipo	Nombre	Características descriptivas	Clase	Jerarquía
Natural	Vestigios prehistóricos	Guilá Naquitz	Conjunto de cuevas prehistóricas encastradas en los contrafuertes de una meseta natural. En algunas cuevas, se han encontrado granos de maíz, frijol y calabaza de la más antigua de América, entre 10000 a 8000 años según tipo de grano (Smith 2001). Desde el año 2010 es Patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO, bajo la decisión 34COM8B.42, criterio iii, (Comité du Patrimoine Mondial, 2010). Se localiza a 8 km al noroeste de Santiago Matatlán.	Central	5
Artificial	Ruinas arqueológicas	Yagul	Ruinas representativas del periodo postclásico de la cultura zapoteca (Baudouin, 2010). Fue un centro cívico - religiosa prehispánico compuesto por una serie de edificios y una cancha de juego de pelota. Es Patrimonio Mundial de la Humanidad, por la UNESCO desde 2010 (Comité du Patrimoine Mondial, 2010). Se localiza a 8 km al noroeste de Santiago Matatlán.	Central	5
Artificial	Ruinas arqueológicas	Mitla	Palacios y tumbas zapotecas del periodo postclásico, dedicados a la muerte. Son conocidos a nivel nacional e internacional por los finos mosaicos geométricos que adornan sus muros. Y la población de San Pablo Villa de Mitla fue reconocido Pueblo Mágico desde octubre de 2015.	Central	4
Natural	Hidrogeológico	Hierve el Agua	Manantiales de aguas termales con conjunto de pozas para nadar y una serie de cascadas petrificadas con caídas que van entre 30 a 60m. Se localiza a 30 km al noreste de Santiago Matatlán.	Central	4
Natural/artificial	Agroecosistemas de clima seco	Agroecopaisajes	Los turistas extranjeros procedentes de regiones con climas templados y fríos del mundo aprecian muy bien los paisajes compuestos por vegetación y cultivos xerofitos. Y muchos lo consideran como los paisajes más representativos de México. Se localizan en las inmediaciones de Santiago Matatlán.	Central	3
Artificial	Agroindustrias	Fabricas tradicionales de mezcal	La elaboración artesanal del mezcal es un proceso largo, en donde algunas etapas si pueden participar muchas personas en este caso los turistas En Santiago Matatlán casi todas las familias poseen una fábrica de producción artesanal de mezcal.	Central	2
Artificial	Terrazas prehispánicas	El palmillo	Son vestigios arqueológicos compuesto por más de mil pequeñas terrazas zapoteca del periodo preclásico. Feinman y Nicholas (2004), asumen que cada terraza correspondía a una casa residencial. En ellas se han reportado evidencias del aprovechamiento temprano de la flora xerofita como alimento y fibra (Haller <i>et al.</i> , 2006, Feimann <i>et al.</i> , 2007). Se localizan a 3 km al noreste de Santiago Matatlán.	Complementaria	2
Artificial	Tianguis	Tianguis de Tlacolula	Es el mercado comercial más antiguo y tradicional del Valle de Tlacolula. Es muy apreciado por los turistas extranjeros por la autenticidad de comerciantes y productos. Se localiza a 10 km al noroeste de Santiago Matatlán.	Complementaria	2
Artificial	Textiles artesanales	Teotitlán del Valle	Es un pueblo en donde sus pobladores elaboran y expenden textiles multicolores de lana como: sarapes, gabanes, tapetes, alfombras entre otros productos. Los textiles son teñidos artesanalmente con diversos productos naturales como son grana cochinilla, añil, cáscara de granada, cascarnes de nuez., etc. Se localiza a 25 km al noroeste de Santiago Matatlán.	Complementaria	2
Natural	Estructura geológica	Nueve Puntas	Pequeña cordillera de nueve picos de montañas con altitudes en las cimas que va entre 2300 a 2500 msnm. Las vertientes de los picos están cubiertas por vegetación de encino-pino, y las cimas por vegetación de tipo chaparral. Se localiza a 5 km al este de Santiago Matatlán.	Complementaria	1
Artificial	Casco urbano pintoresco	Santiago Matatlán	La iglesia católica cuenta con pinturas del siglo XVI, las calles cuentan con caserones hechos con adobes. En la plaza principal se expenden flores, artesanías y otros agroproductos locales. Corresponde con la zona céntrica de Santiago Matatlán	Complementaria	1
Artificial	Museo	Museo comunitario	Se exhiben las piezas arqueológicas encontradas en la zona del Palmillo. Y periódicamente se exhiben pinturas y esculturas de los artistas locales y regionales. Se ubica en el centro de la población de Santiago Matatlán.	Complementaria	1



Dos son de jerarquía 5, es decir la máxima jerarquía. Por lo general, tienen el título de “Patrimonio de la humanidad” que confiere la UNESCO. En valle de Tlacolula representan y albergan testimonios excepcionales de la evolución del hombre mesoamericano; de una sociedad caza-colecta hacia una sociedad agrícola (Comité du Patrimoine Mondial, 2010). Asimismo, dos son de jerarquía 4. Un atractivo es de jerarquía 3 porque es conocido a nivel nacional y también, porque es capaz de motivar por sí mismo corrientes de afluencia de turistas nacionales. Cuatro atractivos fueron clasificados con jerarquía 2; porque sí bien, su radio de influencia es importante a nivel nacional; pero, no son suficientes para motivar por si solos viajes turísticos, generalmente sus visitas son consideradas como una actividad turística complementaria o de paso. Finalmente, tres atractivos fueron de jerarquía 1; estos son atractivos cuyos atributos sólo son conocidos a nivel regional, sin embargo pueden presentar gran interés turístico si se complementan con otros atractivos de jerarquías superiores.

Análisis de la situación turística existente

Al valorar la forma de como los campesinos cultivadores de maguey se involucren y obtengan beneficios económicos entorno al cultivo de maguey, a la elaboración del mezcal y del turismo; se plantearon los siguientes servicios a ofrecer, a través de emprendimientos agroecoturísticos. i) tour agroturístico, al recorrer con un guía las plantaciones de maguey y al visitar alguna fábrica artesanal de mezcal; ii) tour ecoturístico, al practicar el senderismo en los parches de vegetación de matorral xerofito o en la pequeña cordillera de Nueve Puntas; iii) tour cultural, al visitar los principales atractivos arqueológico, arquitectónico y religiosos de la población de Santiago Matatlán y/o Valle de Tlacolula y, iv) tour gastronómico y cata de mezcal, en restaurantes gastronómico que se ubicarán en agroecopaisajes estratégicos y representativo de la comarca Santiago Matatlán, además, se planeó rodearlos de jardines paisajísticos secos; es decir, sólo se utilizaran plantas xerofitas nativas de la misma comarca.

Para definir el mercado meta de los servicios y productos que se ofertarían en el futuro emprendimiento agroecoturístico de Santiago Matatlán; se realizó un estudio de mercado con la finalidad de que éste revelará datos concretos sobre el perfil del turista dispuesto a practicar el agroecoturismo. Para tal efecto, se aplicó una encuesta mediante un muestreo simple a los turistas que estaban presentes en los atractivos turísticos de jerarquía 4 y 5 señalados en el Cuadro 1. Se consideró la segmentación como la técnica para definir el mercado meta. La población de la muestra fue de 22 turistas y mediante 13 cuestionamientos se cubrió la información de los siguientes segmentos: geográfico, demográfico, socioeconómico, psicográfico y exploratorio.

Los resultados de la **segmentación geográfica**, mostró que el 77% de los turistas fueron nacionales y el 23% fueron internacionales. El análisis de los cuestionamientos de la **segmentación demográfica** mostró que el 27% de los turistas entrevistados tenían una edad entre 31.5 a 36.5 años; seguido por el intervalos de 36.5 a 41.5 años con un 23%. La frecuencia acumulada mostró que 82% de los turistas tenían una edad que va entre 21.5 a 46.5 años. La segunda información demográfica que se obtuvo, fue que el 64 % de los turistas entrevistados son del género masculino y sólo el 36% del género femenino. Los resultados de la **segmentación**



socioeconómica, mostro que el 91% de los turistas entrevistados poseen estudios universitarios y el 9% estudios sólo hasta el nivel bachillerato. La segunda información de este segmento es sobre los gastos realizados durante la estancia vacacional y; resultó que 64% realizaron un gasto promedio por día y por familia de \$2,014.00/100 MX y el 36% restante no respondió la pregunta. El gasto más elevado por día/familia fue de \$7,000.00/100 MX y el más bajo registrado fue de \$714.00/100 MX. Sobre, la razón por la cual los turistas visitaron el estado de Oaxaca, principal cuestionamiento de la **segmentación psicográfica**, resultó que: el 55% lo hicieron por sus playas, el 28 % por sus paisajes naturales, el 9% por sus pueblos y ciudades, el 4 % por su patrimonio arqueológico, y el 4% restante por otras razones. La **segmentación exploratoria**, fue enfocada a explorar el conocimiento e interés de los turistas sobre el turismo rural. Para la pregunta, si el turista conoce el agroecoturismo, el 64 % manifestó no conocerlo y el 36% restante respondió que sí.

Definición de algunas estrategias para el desarrollo agroecoturístico en la comarca de Santiago Matatlán en el contexto de su situación en el Valle de Tlacolula

- Posicionar y promover la elaboración del mezcal y el cultivo de maguey como atractivos agroturístico de Santiago Matatlán.
- Posicionar y promover la fauna y flora de los parches ecológicos de matorral xerofito como atractivos ecoturísticos del Valle de Tlacolula.
- Articular y presentar los dos puntos anteriores en un solo paquete turístico bajo la nominación: “Los caminos del Mezcal y del Maguey” o como la “La ruta del mezcal”.
- Organizar y capacitar a los pequeños productores de mezcal y cultivadores de maguey para que ellos mismos sean promotores y partícipes de los beneficios económicos del auge del mezcal y del turismo.
- Mejorar la calidad de los productos elaborados a base del maguey como productos diferenciados; considerando la calidad en sus procesos de producción, transformación y comercialización, la complementariedad entre ellos y el reconocimiento y protección del saber hacer asociado a su origen.
- Desarrollar capacidades asociativas y empresariales de los actores vinculados al PIT y otros atractivos del territorio, para la planificación y gestión de productos y servicios agroecoturísticos.
- Fomentar la inversión público-privada requerida para el fomento a los emprendimientos, la conservación y protección de los atractivos, el desarrollo de infraestructura y el manejo de la imagen de los PIT y del territorio.
- Establecer alianzas con los sectores público, privado, académico y sociedad civil vinculada al agroecoturismo.

CONCLUSIONES

El análisis FODA, definió que Santiago Matatlán basándose en el cultivo de maguey la elaboración del mezcal y el entorno natural, presenta suficientes condiciones internas y externas



favorables para desarrollar el turismo rural en su modalidad de agroecoturismo. La valorización y análisis de los atractivos turísticos, ilustró que el agroecoturismo en Santiago Matatlán, podría ser viable por el hecho de contar con seis atractivos centrales a distancias menores de 50 km. El estudio de mercado determinó que el mercado meta de los servicios y productos agroecoturísticos a desarrollar en Santiago Matatlán es el turista nacional de sexo masculino con un nivel educativo alto, su edad se sitúa entre 21.5 a 46.5 años, suele viajar acompañados por la familia y en vehículo propio y su gasto promedio por familia y día es \$MX 2014.00. Con base a la metodología IICA-OEA, el agroecoturismo se entrevé como una actividad productiva viable en la comarca de Santiago Matatlán.

LITERATURA CITADA

- Baudouin, H. 2010. La céramique du site de Yagul, Oaxaca, Mexique: relecture d'un site "postclassique". Thèse. de Doctorat.: Anthropologie, Ethnologie, Préhistoire Archéologie d'Amériques. Université Paris I, Panthéon-Sorbonne. 384 p.
- Bigné, E., X. Font y L. Andreu. 2000. Marketing de destinos turísticos: análisis y estrategias de desarrollo. Esic editorial. Madrid. 545 p.
- Blanco, M. 2008. Guía para la elaboración del plan de desarrollo turístico de un territorio. Documento de trabajo, elaborado en el marco del Convenio de colaboración entre IICA Costa Rica y el Programa de Desarrollo Agroindustrial Rural (PRODAR), San José de Costa Rica. 45 p.
- Comité du Patrimoine Mondial. 2010. Décision adoptées par le comité du Patrimoine Mondial a sa 34^e session (Brasilia, 2010). Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture. Convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel. Brasilia, Brésil. 296 p.
- Cooper, C. and C. M. Hall. 2008. Contemporary Tourism: An International Approach. First Edition. Elsevier Ltd. UK. 377 p.
- Fayos-Solà, E., L. Fuentes Maraleda and A. I. Muñoz Mazón. 2014. The FAS Model. In: E. Fayos-Solà, M. D. Alvarez and C. Cooper (eds.). Tourism as an Instrument for Development: A Theoretical and Practical Study (Bridging Tourism Theory and Practice, Volume 5). Emerald Group Publishing Limited, United Kingdom. pp. 55-86.
- Feinman, G. M. and L. M. Nicholas. 2004. Hill top Terrace Sites of Oaxaca Mexico. Intensive Surface Survey at Guirún, El Palmillo and the Mitla Fortress. *Anthropology* New Series N° 37. Publication 1530, 89-115.
- Feinman, G. M., L. M. Nicholas and H. R. Haines. 2007 Classic period agricultural intensification and domestic life at El Palmillo, valley of Oaxaca, México. In: T. Thurston, C. T. Fisher (eds.). Seeking a Richer Harvest: The Archaeology of Subsistence Intensification, Innovation and Change. Springer. New York. pp. 23-62
- Haller, M. J., G. M. Feinman and L. M. Nicholas. 2006. Socioeconomic inequality and differential access to faunal resources at El Palmillo, Oaxaca, Mexico. *Ancient Mesoamerica* 17: 39-56.
- Ibáñez, R. y V. I. Rodríguez. 2012. Tipologías y antecedentes de la actividad turística: turismo tradicional y turismo alternativo. In: A. Ivanova, R. Ibañez (eds.). Medio ambiente y política



- turística en México. Tomo I. Ecología, biodiversidad y desarrollo turístico. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F. P. pp. 164.
- Mikery, M. J., A. Pérez-Vásquez, M. d. J. Piñar, G. Cruz y A. Asiain. 2013. Potencial agroecoturístico del estado de Veracruz mediante un sistema de información geográfica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (5): 1049-1054
- OEA-IICA. 2008. Módulo 2: Proyecto: de la Idea al Análisis Previo. Documento del curso virtual de Agroecoturismo: Elementos básicos para implementar un proyecto de turismo innovador. Rev. 03/11/10.01. 14 p.
- OEA-IICA. 2014. Módulo 1. Planificación del negocio agroecoturístico. Documento del curso virtual de Agroecoturismo: Bases para diseñar un proyecto de turismo innovador. Revisado y actualizado por Gonzales M. & M. Blanco, en diciembre de 2014. Centro de Promoción de Capacidades Técnicas y de Liderazgo del IICA. 16 p
- Pérez-Barroso, R. 2009. Plan municipal para el desarrollo rural sustentable de Santiago Matatlán. Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable de Santiago Matatlán, Tlacolula, Oax.-SAGARPA, Santiago Matatlán, Oaxaca. Febrero 2009. 115p.
- Santiago-Romero, H. 2013. Ecoagroturismo y agroecoturismo, conceptos integradores de la actividad turística en el medio rural. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo (RIDE)*. No. 10. (Consultado: 15/09/2017). Disponible en: <http://ride.org.mx/1-11/index.php/RIDESECUNDARIO/article/view/250/245>
- SEMARNAT. 2009. Manual Técnico para Beneficiarios: Turismo de Naturaleza. (Primera Edición). Educación y Desarrollo Tecnológico. Gerencia de Educación y Capacitación. México. 25p.
- Sepúlveda, S. 2008. Biograma: metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios. IICA, San José, C. R. 132 p.
- United Nation. 2010. International recommendation for Tourism Statistics 2008. Department of Economic and Social Affairs. Statistic Division. Series M No 83/Rev 1. New York. 134p.



MANEJO INTEGRADO Y SOSTENIBLE DEL AGROECOSISTEMA MAGUEY PARA EL CONTROL DE *Scyphophorus acupunctatus* Gyll.

[INTEGRATED AND SUSTAINABLE AGAVE-AGROECOSYSTEM MANAGEMENT FOR CONTROL OF *Scyphophorus acupunctatus* Gyll.]

Jaime Ruiz Vega[§], Teodulfo Aquino Bolaños, Juan R. Delgado Gamboa, Carlos I. Cortés-Martínez

Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN-OAXACA). Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230, Oaxaca. México. Teléfono: (951) 5170610 Ext. 82787. (aquino22@hotmail.com, juan_rdg@hotmail.com, solemia7@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: (jruizv@yahoo.com).

RESUMEN

El agave o maguey (*Agave* spp.) es una planta que conserva el suelo y el agua, por lo que, además de representar una alternativa de producción para los campesinos ubicados en las zonas de baja precipitación y suelos de ladera de los Valles Centrales de Oaxaca, puede contribuir a atenuar las tasas de erosión. Uno de los insectos plaga más importantes en la actualidad es el picudo del maguey (*Scyphophorus acupunctatus*), ya que su larva construye galerías extensas dentro de la “piña” del agave y puede causar daños que la vuelven inutilizable para la elaboración de mezcal. La estrategia de manejo integrado de plagas (MIP) busca reducir el número de aplicaciones de insecticidas con fundamento en el muestreo para determinar los niveles de daño. No obstante, es más recomendable el manejo integrado del agroecosistema porque se utilizan distintas prácticas de bajo impacto ecológico. El objetivo de este trabajo fue identificar las prácticas para un manejo integrado y sostenible de la plaga y enfermedades asociadas. De acuerdo a la literatura, las prácticas con mayor potencial fueron: combate de malezas por medios mecánicos y por asociación del maguey con otros cultivos, trampeo para la reducción de la población de adultos, fertilización orgánica y control biológico.

Palabras clave: Entomopatógeno, fertilización orgánica, manejo integrado, policultivo.

ABSTRACT

The agave or maguey (*Agave* spp.) is a plant that conserves soil and water, which, in addition to representing a production alternative for the farmers located in the areas of low precipitation and steep soils of the Valles Centrales of Oaxaca Region, can contribute to attenuate soil erosion rates. Actually, one of the most important insect-pests is the maguey weevil (*Scyphophorus acupunctatus*), since its larva builds extensive galleries inside the “piña” of agave which can cause damages that make it unusable for mezcal production. The integrated pest management (IPM) strategy seeks to reduce the number of insecticide applications based on sampling to determine levels of damage. However, the integrated management of agroecosystem is more advisable because of different practices of low ecological impact are applied. The objective of this paper is to identify such practices for the sustainable-integrated management of this insect



pest and associated illnesses. According to the literature review, weed control by mechanical means and association of the agave with other crops, trapping for the reduction of the adult population, organic fertilization and biological control were the practices with more potential.

Index words: Entomopathogen, organic fertilization, integrated management, polyculture.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de lomerío de los Valles Centrales de Oaxaca (VCO) se catalogan como Regosoles y Litosoles, se ubican en pendientes de 5-20 % y se encuentran en un proceso activo de deterioro, especialmente debido al pastoreo excesivo y la erosión hídrica (Ruiz-Vega, 1998). El agave o maguey (*Agave* spp.), es una planta que conserva el suelo y agua gracias a que cuenta con un sistema radicular abundante, pero relativamente superficial, además representa una alternativa de producción para los campesinos ubicados en las zonas de baja precipitación y suelos de ladera de los VCO, pudiendo contribuir a atenuar las tasas de erosión (Ruiz *et al.*, 2001).

En general, el campesino magueyero considera que éste cultivo no responde al manejo, por lo cual con frecuencia no se fertiliza, no se combaten plagas ni enfermedades y no se realizan labores culturales para el control de maleza. Se sabe que una plantación con deficiente manejo puede retrasar su producción por varios años e incluso no producir debido a un deficiente control de malezas, baja fertilidad del suelo y presencia de plagas y enfermedades, entre otras (CESAVEG, 2007). Uno de los insectos plaga más importantes en la actualidad es el picudo del maguey (*Scyphophorus acupunctatus*), ya que su larva construye galerías extensas dentro de la “piña” del agave y puede causar daños que lo vuelven inutilizable para el proceso de elaboración de mezcal (Aquino-Bolaños *et al.*, 2010).

La estrategia de manejo integrado de plagas (MIP) busca reducir el número de aplicaciones de insecticidas con fundamento en el muestreo para determinar los niveles de daño. Sin embargo, es más recomendable el manejo integrado del agroecosistema (MIA). El objetivo fue hacer una revisión y discusión de trabajos publicados que reportan resultados sobre malezas, plagas y enfermedades en cultivos de agave para elucidar las prácticas más relevantes para su manejo. A continuación se describen los principales factores adversos en el agroecosistema maguey-maíz, así como algunas prácticas alternativas para el MIA.

DESARROLLO

Factores limitantes en el agroecosistema maguey-maíz

Malezas. Las malezas (Figura 1a) perennes y anuales compiten por luz, agua y nutrientes con el agave, lo cual afecta mucho su crecimiento y desarrollo; además de ser hospederas de plagas y enfermedades (CESAVEG, 2007). Las malezas, deben ser controladas como máximo los primeros 30 días de iniciado el temporal, controlar más tarde o no controlar, afecta el crecimiento y desarrollo de nuevas hojas (Marín, 2002). Las malezas deben controlarse en la zona de goteo de



la hilera del agave especialmente en las etapas tempranas de desarrollo (2 a 3 hojas verdaderas) y en los primeros 30 días después de iniciado el temporal. En Oaxaca, se recomienda una segunda limpia después del periodo lluvioso, es decir, en el periodo de septiembre-octubre.

El control mecánico de malezas debe iniciar desde el momento del trasplante y hasta los 4 a 5 años de edad, mientras sea posible, ya que el cultivo va cerrándose. Es recomendable dejar las hileras del cultivo limpias y permitir una ligera cubierta vegetal en las calles para retener suelo y agua. Una vez que la mayor parte de malezas terminan floración, deberán controlarse mediante escardas con rastra, cinces, rodillos u otros implementos, pero tratando de no mover la tierra más allá de 10-15 cm de profundidad (CESAVEG, 2007).

Es recomendable intercalar otros cultivos que, sin alcanzar una altura elevada, produzcan una rápida cobertura del suelo para obstaculizar el desarrollo de las malezas en la plantación de agave, tales como frijol, garbanzo y maíz precoz (Figura 1b). Los cultivos intercalados reducen malezas, plagas y enfermedades, pueden mejorar la calidad del suelo, incrementan la productividad de la tierra y atenúan la variabilidad del ingreso (Ruiz-Vega, 1993; Altieri y Nicholls, 2000).

Cuando no exista otra alternativa, en las etapas finales del ciclo del cultivo, se recomienda el uso de herbicidas autorizados como: Glifosato, Glufosinato de amonio, Tebuthiuron y Amicarbazone. Sin embargo, la aplicación excesiva de estos productos causa amarilleamiento y fitotoxicidad acumulativa. Los herbicidas 2,4-D, Paraquat y Carfentrazone-etil causan quemaduras y retrasan el cultivo, por lo cual no se recomiendan (CESAVEG, 2007).

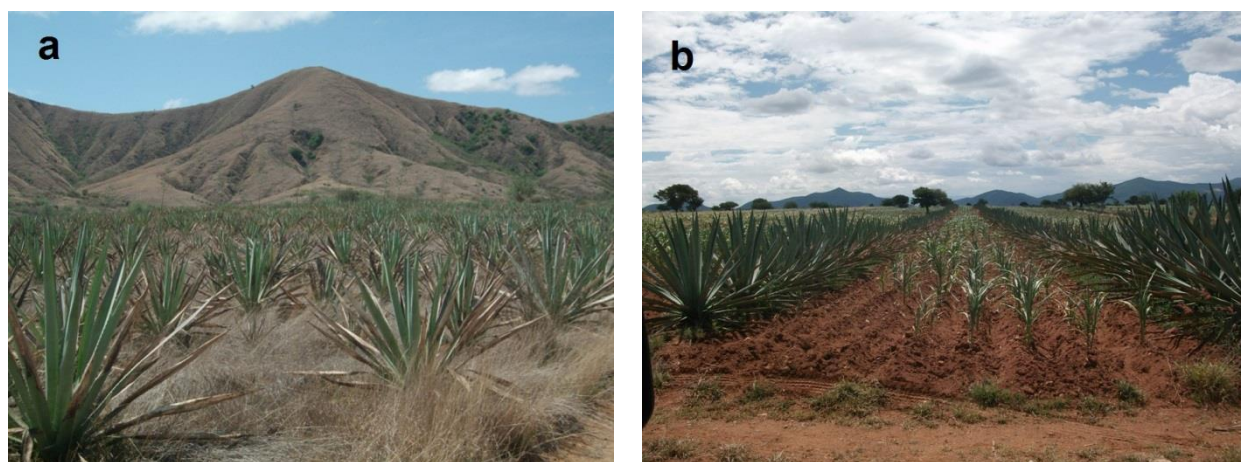


Figura 1. a) Plantación de maguey con un manejo deficiente de malezas y con presencia de picudo del agave y enfermedades fungosas. b) Siembra de franjas de maíz en plantaciones de agave en San Juan Guelavía, Tlacolula, Oaxaca, México.



Fertilidad del suelo. El cultivo se ubica en suelos someros y erosionados de baja fertilidad. En general, el cultivo del maguey no se fertiliza directamente, solo de manera indirecta puede recibir algún nutriente de los que se aplican entre las hileras para otros cultivos como el maíz. Sin embargo, se ha demostrado que el cultivo responde a la fertilización, lo cual se refleja en una mayor producción (Enríquez-del Valle, 2007), especialmente si se combinan los fertilizantes orgánicos con los inorgánicos (Arredondo *et al.*, 2001).

Otra razón para fertilizar el cultivo, es que una planta bien nutrida será más tolerante al ataque de patógenos (López, 2007). Es recomendable la fertilización orgánica, utilizando estiércol seco, compostas o cultivos para abono verde. De acuerdo a Ruiz-Vega y Loaeza-Ramírez (2003), se pueden utilizar distintas especies para abono verde, tales como crotalaria (*Crotalaria juncea*), soya (*Glycine max*) y lab-lab (*Doilichus* sp.). Las leguminosas para abono verde se deben incorporar al terreno en la etapa de floración para un mayor aporte de nitrógeno.

Cuando las condiciones de humedad lo permitan, se pueden establecer cultivos para abono verde, no necesariamente leguminosas. Especies como trigo y sorgo alcanzan más del 70 % de los contenidos máximos de nitrógeno, fósforo y potasio en la etapa de espiga (Jones y Olson-Rutz, 2009). El encalado localizado puede ser benéfico cuando se tiene un suelo con pH ácido (menor de 6.5); al contrario en suelos con pH alcalino (mayor de 8.0) se debe aplicar sulfato de amonio o urea, dado su notorio efecto acidificante.

Plagas. Entre las plagas más comunes en los VCO se tiene al picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* y al escarabajo rinoceronte o torito *Strategus aloeus* L. Ambas tienen patrones de desarrollo similares, además de que propician la entrada de organismos patógenos a la planta, tales como “pudrición blanda” (*Erwinia* sp.) y “punta seca” (*Fusarium oxisporum*). A continuación se enfatiza el control del picudo, pero algunas medidas son aplicables a ambas especies.

El picudo es endémico de México, desde 1914 se tiene registro de su presencia en América Central, poco después fue reportado en Java en 1916 y posteriormente se detectó en Hawaii en 1927 (Lock, 1969). Presenta cuatro etapas de desarrollo: huevecillo, larva, pupa y adulto. A una temperatura promedio de 23 ± 2.2 °C, la fase de huevecillo dura 7.7 ± 1.4 días, la de larva 65.2 ± 1.1 días, la pupa 16.5 ± 2.8 días y la de adulto 186.8 ± 10.4 días (Aquino-Bolaños *et al.*, 2010). Las larvas (gusanos) son de color blanco cremoso, en forma de una “C” sin patas, con cuerpo segmentado y estriado; miden de 1 a 2 cm de largo, con cabeza grande y esclerosada que presenta dos prolongaciones pequeñas (cercos). Se tienen 3 estadios larvales.

El período pupal se realiza en cocones contruidos con fibras dentro de la piña o en el suelo cerca de la base de la planta. El daño inicial se nota por perforaciones y secreciones gomosas entre el cogollo y la penca, formando galerías y causando pudrición blanda. Cuando esto sucede es fácil encontrar larvas, pupas y adultos en la misma planta (con traslape de generaciones).



El adulto es de color negro brillante, mide de 1.5 a 2 cm de largo, con pico bien desarrollado y encorvado. Los adultos se encuentran en la base de las pencas, así como dentro de las piñas, generalmente en aquellas que están en proceso de descomposición debido al ataque de las larvas. Las altas temperaturas y precipitaciones favorecen la presencia de adultos de *S. acupunctatus*. En los VCO, ocurren entre 2-3 generaciones por año y en una planta se localizan todos los estadios de desarrollo de la plaga (Figura 2).

El daño inicial se nota por perforaciones y secreciones gomosas en el cogollo y/o la penca, formando galerías y causando pudrición blanda, una enfermedad fungosa. Los adultos tienen hábitos crepusculares, es decir salen de la planta entre las 19 y 20 h, pero no son atraídos a la luz (CESAVEG, 2007).

En términos prácticos, en el campo es importante la identificación y diferenciación de síntomas causados por hongos y bacterias. En el mercado existen algunos fungicidas-bactericidas. Se recomienda aplicar previo a la plantación, para no plantar hijuelos enfermos. En plantaciones nuevas realizar un diagnóstico fitosanitario a los hijuelos, plantar hijuelos con presencia de patógenos, además realizar una desinfección preventiva de los hijuelos. Realizar muestreos periódicos para detectar brotes de enfermedades. Para evitar pudriciones se recomienda no enterrar en exceso el hijuelo en el establecimiento, evitar los suelos arcillosos o pesados y eliminar las malezas de la hilera del cultivo ya que son hospederas de enfermedades. Además fertilizar el cultivo, ya que una planta bien nutrida será más tolerante a las enfermedades si el calcio forma parte importante del tejido de la planta. Evitar al máximo las labores del cultivo que impliquen daño mecánico. Desinfectar las herramientas de trabajo con cloro (1 L de cloro comercial en 6 L de agua) después de cada corte o por lo menos a la entrada y salida de cada hilera.

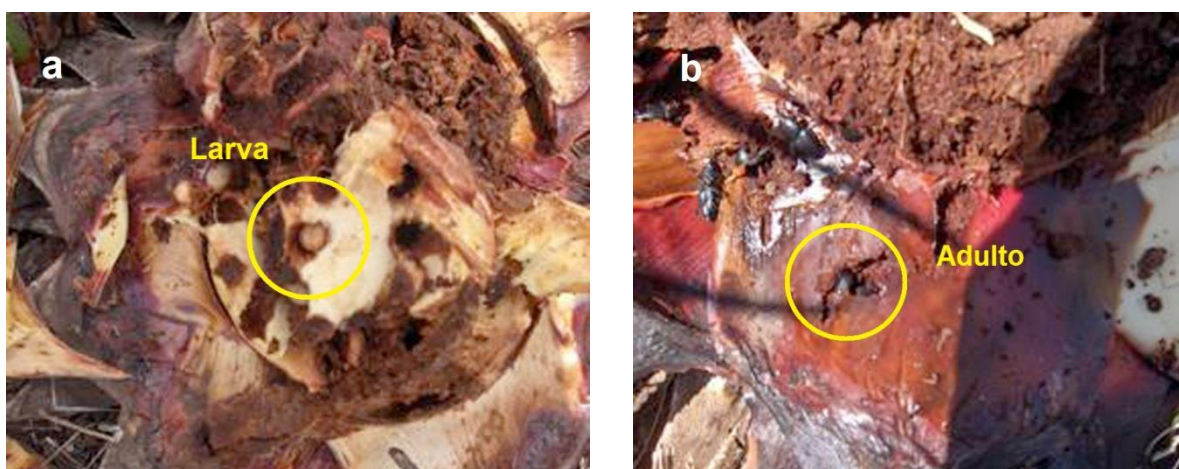


Figura 2. a) Planta de agave con plaga de *S. acupunctatus*, larvas barrenando el tallo o piña. b) Insectos adultos barrenando las hojas de agave.



Enfermedades. Además del daño mecánico a las plantas, el picudo del agave es vector de enfermedades. Cuando las larvas barrenan las piñas del agave, también introducen la bacteria *Erwinia carotovora* (Jones), la que causa pudrición en el cogollo y la muerte del agave (Solís *et al.*, 2001). De acuerdo a Chagoya-Méndez (2005), las enfermedades de mayor importancia económica en el cultivo del maguey son: *Erwinia* sp. (“Secazón”), bacteria que afecta tanto a la porción foliar como a la piña del maguey; *Fusarium* spp. (“Mancha Marginal, Punta Seca o Gomosis”), se caracteriza porque las hojas comienzan a secarse desde la punta; *Colletotrichum agavis* (Antracnosis), la cual inicia con puntos verdes que posteriormente tienen una coloración café o gris, la cual se extiende a toda la hoja dándole un color amarillo pálido; y “Anillo rojo”, la cual provoca una constricción basal en el cogollo que produce exudaciones de un líquido blanco y pegajoso, adquiriendo posteriormente un color rojizo. Según Lazcón-Rivera (2012), el anillo rojo es provocado por las bacterias *Erwinia amylovora* y *Cercospora agavicola*.

Medidas de control

Trampas para adultos. El mayor riesgo por la presencia de insectos adultos de picudo del agave es su capacidad de infestar plantas sanas, para lo cual realizan perforaciones en la base de las hojas y en el qurote; una vez que el adulto penetra es difícil de controlar, por lo cual se debe disminuir la población de adultos.

La utilización de trampas para la captura de adultos puede disminuir la severidad de los daños causados al cultivo. Durante el desarrollo del cultivo, se deben realizar muestreos periódicos para la detección temprana de plagas. El uso de trampas de luz puede ser utilizado como un indicador de la llegada y presencia de plagas como gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) y el escarabajo rinoceronte (*Strategus aloeus* L.).

Es importante que los agricultores y los profesionales fitosanitarios en la protección de cultivos adopten una actitud preventiva en el manejo de las plagas. Bravo *et al.* (2007), consideran que la captura de adultos de picudo en trampas tipo “galón”, utilizando la parte basal (“conchas”) de las hojas fermentadas de agave espadín como atrayente, puede reducir la población de adultos emigrantes y residentes, con lo cual eventualmente se podría reducir el daño causado por ésta plaga. En predios de más de 4 años de edad se recomienda iniciar alguna estrategia de control cuando se detecte un picudo por planta en los meses más secos (González *et al.*, 2007).

La hormona sintética 2-metil-4-octanona, a dosis de 350 mg por trampa, resultó altamente efectiva para la captura de adultos; las trampas se fabricaron con cubetas plásticas de 3 L donde se perforaron aberturas circulares de 3 cm de diámetro cerca de la base de la cubeta; en su tapa se colgó un sobre con la feromona, espaciándolas cada 100 m. La mejor altura para ubicar la trampa fue sobre el cogollo (87 picudos·trampa⁻¹) y no sobre el suelo cerca de la base de la planta (34 picudos·trampa⁻¹). El color de la cubeta no influyó, pero la transparente y blanca capturaron más hembras (Rodríguez-Rebollar, 2011).



Manejo integrado de plagas. Esta estrategia busca reducir el número de aplicaciones de insecticidas con fundamento en el muestreo para determinar los niveles de daño. Al reducir el número de aplicaciones de insecticidas para propiciar la acción benéfica de los enemigos naturales sobre las plagas. En Jalisco, según el promedio de 3 sitios, se considera que al tener unos 16 picudos por planta se debe iniciar alguna acción de manejo; como la jima sanitaria (Solis *et al.*, 2001) o el trapeo; Figueroa-Castro (2009) obtuvo una captura de hasta 550 adultos por trampa por mes, la mayoría hembras, en el período de mayo a junio en dos localidades, lo cual se asoció con la presencia de unos 50 adultos por planta.

En el caso de escamas y piojos se recomienda abrir las pencas u hojas que sean necesarias para exponer la plaga a la intemperie y a los insecticidas. Sin embargo, el control de *S. acupunctatus* con insecticidas no ha sido exitoso debido a que las larvas y adultos se alojan dentro de los tejidos, por lo que es poca o nula la cantidad de insecticida que llega hasta el sitio en que se encuentran los “picudos” (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2004). González (2001) encontró que el piretroide lamda-cyhalotrina fue 100 % efectivo en el control de larvas del picudo del agave. Terán-Vargas *et al.* (2012) reportaron a los insecticidas Malation, Endosulfan, Metomilo y Fipronil como los mejores en el control del adulto del picudo del agave con efectividad biológica de 90 a 100 %.

Control etológico. Para el manejo de insectos barrenadores del agave, como el picudo, es importante la detección oportuna de la etapa adulta de la plaga para su control, evitando así que cause un daño económico importante, ya que una vez entrando a la penca y a la piña es muy difícil su control. Este se puede llevar a cabo a través de la instalación de trampas de feromonas distribuidas en un arreglo “cinco de oros” en la parcela para determinar los niveles de infestación de la plaga para tomar alguna medida de control oportuna.

Actualmente, se sabe que el macho del picudo del agave produce una feromona de agregación que atrae tanto a machos como hembras de su misma especie. La feromona ha sido sintetizada y utilizada para detectar la presencia del picudo en las plantaciones de agave (Azuara-Domínguez *et al.*, 2012).

Control biológico. Una estrategia de manejo de plagas que no presenta riesgo de contaminación se basa en el uso de agentes de control biológico como los parasitoides, depredadores y entomopatógenos que atacan a los insectos de forma natural. Sin embargo, a menudo es necesario aplicarlos de manera inundativa para obtener porcentajes altos de control del insecto.

Se han reportado como enemigos naturales de larvas de picudo a parasitoides del género *Alienioclypeus* y depredadores de los géneros *Lioderma* y *Hololepta* (Espinosa *et al.*, 2002). Se han aislado nematodos y hongos entomopatógenos en adultos y larvas de picudo en plantaciones de agave de los VCO. La protección de los enemigos naturales de plagas en el agave constituye uno de los elementos más importantes, por lo que es de suma importancia no realizar aplicaciones frecuentes de insecticidas y nematicidas.



Los nematodos entomopatógenos *Steinernema carpocapse* y *Steinernema websteri* han sido efectivos para el control de larvas del picudo en condiciones de laboratorio (Delgado-Gamboa *et al.*, 2016). Sin embargo, en condiciones de campo, con aplicaciones de nematodos nativos en suspensión acuosa a plantas de maguey, no se logró un control satisfactorio de la plaga (Ruiz-Vega, 2013), pero hay evidencias locales que indican esta posibilidad con el uso de una cepa nativa de *S. carpocapsae* (Aquino-Bolaños *et al.*, 2006). Los hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, se consideran agentes potenciales para el control de adultos (Pacheco-Sánchez, 2002).

Enfermedades. De acuerdo a Chagoya-Mendez (2005) para prevenir y combatir la presencia de enfermedades es necesario emplear material vegetativo sano y vigoroso; la desinfección de terrenos ocupados anteriormente con maguey y la realización de labores culturales suficientes y oportunas (Chagoya-Méndez, 2005). En Oaxaca, las parcelas con buen control manual de malezas y adición de materia orgánica mostraron la menor incidencia de enfermedades, tales como “punta seca” (*Fusarium oxisporum*), “mancha marginal” (*Phomopsis* sp.), y “mancha bacterial” (*Erwinia* sp.) (López, 2007). Sin embargo, aunque la maleza puede servir como reservorio de enfermedades, también alberga insectos benéficos y protege el terreno del impacto de la lluvia.

COMENTARIOS FINALES

Las prácticas de manejo integral con mayor potencial fueron: combate de malezas por medios mecánicos y por asociación del maguey con otros cultivos, trampeo para la reducción de la población de adultos, fertilización orgánica y control biológico. Además, es necesario manejar las plantaciones de maguey como un agroecosistema, donde se incluyan otros componentes como el maíz y el ganado estabulado. Así se puede aumentar la eficiencia de uso de la tierra, producir básicos, disminuir la incidencia de plagas y enfermedades e incorporar animales al sistema para aprovechar el forraje (incluye malezas) y producir estiércol.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M. y C. I. Nicholls. 2000. Agroecología. Teoría y Práctica para una Agricultura Sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Ciudad de México. México. (Consultado: 12/04/2017). Disponible en: [http://www.agro.unc.edu.ar/~biblio/AGROECOLOGIA2\[1\].pdf](http://www.agro.unc.edu.ar/~biblio/AGROECOLOGIA2[1].pdf).
- Aquino-Bolaños, T., J. Ruiz-Vega y C. M. Iparraguirre-Cruz. 2006. Control biológico del picudo negro (*Scyphophorus interstitialis* Gyllenhal) con nematodos y hongos entomopatógenos en agave en Oaxaca, México. Revista UDO Agrícola 6(1): 92-101.
- Aquino-Bolaños, T., J. Ruiz-Vega y D. Martínez-Sánchez. 2010. Ecología y biología de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Curculionidae), plaga del agave mezcalero en los Valles Centrales de Oaxaca. Naturaleza y Desarrollo 8(1): 59-68.



- Arredondo, C., R. Contreras y A. Canseco. 2001. Evaluación de la respuesta del maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) a la fertilización en plantaciones comerciales. In: VI Foro Estatal de Investigación Científica y Tecnológica. Oaxaca, México. 105-107 pp.
- Azuara-Domínguez, A., J. Cibrián-Tovar, A. P. Terán-Vargas., F. Tafoya-Rangel, P. Vega-Aquino and C. A. Blanco. 2012. Trapping *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) with fermented tequila agave, and identification of the attractant volatiles. *Southwestern Entomologist* 37(3): 341-349.
- Bravo, M. E., J. Rojas León, H. Espinoza Paz & P. López López. 2007. Evaluación de atrayentes para la captura de *Scyphophorus acupunctatus*. *Agroproduce* febrero 2007, p. 10-14. (Consultado: 14/08/2017). Disponible en: <http://www.oedrus-oaxaca.gob.mx/produce/febrero07/contenido.pdf>
- Chagoya-Méndez, V. M. 2005. Diagnóstico del sistema producto Maguey-Mezcal, Plan Rector del sistema producto Maguey-Mezcal. SAGARPA-Delegación Oaxaca, SEDAF del Gobierno del Estado de Oaxaca y Consejo Oaxaqueño del Maguey y Mezcal A. C., México. 179 p.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato (CESAVEG). 2007. Manual de plagas y enfermedades del agave. Gobierno del Estado de Guanajuato, Guanajuato. México. 28 p. (Consultado: 14/08/2017). Disponible en: http://www.cesaveg.org.mx/html/folletos/folletos_11/folleto_agave_11.pdf
- Delgado-Gamboa, J. R., J. Ruíz-Vega, J. E. Ibarra-Rendón, T. Aquino-Bolaños and S. Girón-Pablo. 2015. Isolation and Identification of Native Entomopathogenic Nematodes (Nematoda: Rhabditidae) and Potential for Controlling *Scyphophorus acupunctatus* in a Laboratory. *Southwestern Entomologist* 40(4): 731-739.
- Enríquez del-Valle, J. R. 2007. La micropropagación de agaves y su fertilización en vivero. *Agroproduce* (16):16-17.
- Espinosa, P. H., C. Arredondo V., M. A. Cano G, L. A. M. Canseco y Q. F Vázquez. 2002. La materia prima para producir mezcal oaxaqueño. Catálogo de la diversidad de Agave. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRPS-Campo Experimental Valles de Oaxaca, México. 180 p.
- Figueroa-Castro, P. 2009. Fluctuación poblacional y trampeo de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) con feromona de agregación en plantaciones de agave tequilero en Jalisco. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, 78 pp.
- González-Hernández, H., J. F. Solís-Aguilar, C. Pacheco-Sánchez, F. J. Flores-Mendoza, R. Rubio-Cortés y J. C. Rojas. 2007. Insectos barrenadores del agave tequilero. In: H. González-Hernández, J. I. Del Real-Laborde, J. F. Solís-Aguilar (eds.) Manejo de Plagas del Agave Tequilero. Colegio de Postgraduados-Tequila Sauza, Jalisco, México. pp. 39-67.
- Jones, C., K. Olson-Rutz and C. Pariera- Dinkins. 2009. Nutrient uptake timing by crops: to assist with fertilizing decisions. University of Montana Extension Service, EB0191. Bozeman, Montana, USA.
- Lazcón-Rivera, M. 2012. Plan Rector: Sistema Producto Nacional Agave Tequilana. Sin publicar. 41 pp. (Consultado: 14/08/2017). Disponible en: http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNSP_AGAVE_TEQUILA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_AGAVE%20TEQUILA_NACIONAL_2012.pdf



- Lock, G. W. 1969. Sisal: Thirty years' sisal research in Tanzania. 2^a. ed. Longmans. United Kingdom, 365 p.
- López L. P. 2007. Diagnóstico fitosanitario de maguey mezcalero en Sola de Vega, Oax. Agroproduce febrero 2007, p. 14-16. (Consultado: 14/08/2017). Disponible en: <http://www.oedrus-oaxaca.gob.mx/produce/febrero07/contenido.pdf>
- Pacheco-Sánchez, C. 2002. Efectividad biológica de los entomopatógenos *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. y *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sor., sobre el picudo del agave tequilero *Scyphophorus acupunctatus* Gyll. en Atotonilco, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 53 p.
- Rodríguez-Rebollar, H. 2011. Trampeo del picudo del agave con feromonas de agregación y volátiles de agave. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Texcoco, Estado de México. 87 p.
- Ruiz V. J., M. Bravo E. y G. Loaeza R. 2001. Cubiertas Vegetales y Barreras Vivas: Tecnologías con Potencial para Reducir la erosión en Oaxaca, México. Terra 19: 89-95.
- Ruiz-Vega, J. y G. Loaeza-Ramírez. 2003. Evaluación de abonos verdes en asociación con maíz de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca, México. Terra 21: 409-415.
- Ruiz-Vega, J. 1993. Estabilidad y redituabilidad de sistemas de cultivo tradicionales y exóticos. In: Resúmenes del I Congreso Internacional de Agricultura Sostenible. p. II28 . Diciembre 1-4, CEICADAR, Puebla, Pue. México.
- Ruiz-Vega, J. 1998. Zonificación agroecológica del maíz de temporal en los Valles centrales de Oaxaca I. Determinación del potencial productivo. Terra 16(3): 269-275.
- Ruiz-Vega, J. 2013. Control biológico del picudo del agave, una plaga de plantas ornamentales en los EEUU y de producción de agave para tequila y mezcal en México. Informe de actividades del proyecto UC MEXUS No. CN-11-540. CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN. 19 p.
- Solís-Aguilar, J. F., H., González-Hernández, J. L., Leyva -Vázquez, A., Equihua-Martínez, F. J., Flores-Mendoza y A. Martínez-Garza. 2001. *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, Plaga del agave tequilero en Jalisco. México. Agrociencia 35(6): 663-670.
- Terán-Vargas, A. P., A. Azuara-Domínguez, P. Vega-Aquino, J. Zambrano-Gutiérrez and C. Blanco-Montero. 2012. Biological Effectivity of Insecticides to Control the Agave Weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. Southwestern Entomologist 37(1):47-53.
- Valdés-Rodríguez, S., J. L. Ramírez-Choza, J. Reyes-López y A. Blanco-Labra. 2004. Respuestas del insecto Max (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal ([Coleoptera: Curculionidae]) hacia algunos compuestos atrayentes del henequén. Acta Zoológica Mexicana 20(3): 157-166.



DESEMPEÑO DE PEQUEÑOS PRODUCTORES EN LA CADENA DE VALOR DEL MEZCAL EN TRES COMUNIDADES DE OAXACA

[SMALL PRODUCERS PERFORMANCE ON VALUE CHAIN OF MEZCAL IN THREE COMMUNITIES IN OAXACA]

Arcelia Toledo López¹, Dora Lilia Guzmán Cruz^{1§}, Rosa María Velázquez Sánchez²

¹Profesor investigador del Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (IPN-CIIDIR-OAXACA). Hornos No, 1003, Col. Noche Buena. Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán. C.P. 71230, Oaxaca. Teléfono (951) 5170610 Ext. 82754. ²Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO). Facultad de Contaduría y Administración. (arcetole@hotmail.com, romavesa205@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: (doligu0531@hotmail.com).

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo analizar el desempeño de los pequeños productores en la cadena de valor del mezcal. Se aplicaron 52 cuestionarios a pequeños productores de mezcal en: Santiago Matatlán, San Dionisio Ocotepec y Yutanduchi de Guerrero, identificando cinco eslabones de la cadena productiva del mezcal: proveedores de insumos, productores de maguey, destiladores, envasadores y comercializadores. En los últimos cinco años su crecimiento financiero fue bajo, sin embargo, los productores están muy satisfechos con el desempeño de su palenque, perciben buenos resultados por la eficiencia de trabajadores, ingresos por ventas, lealtad y número de clientes. Además, pueden cubrir necesidades básicas de alimentación, pagar servicios, mandar a sus hijos a la escuela, pagar servicio médico y medicinas, vivir bien, invertir en su negocio y satisfacer necesidades sociales. Realizan acciones ambientales de reforestación, aplican normas de producción, reciclado y/o reutilización de residuos. La destilación es la actividad principal de la cadena de valor, en poca proporción el envasado y comercialización, el desempeño ha sido bajo en crecimiento financiero con reducidas acciones ambientales, pero con mayor satisfacción por los logros alcanzados, perciben pocas ganancias monetarias como se esperaba, pero han logrado mantener en operación su palenque, mejorado la calidad, demanda y precio de mezcal.

Palabras clave: Mezcal, cadena de valor, desempeño financiero, productores.

ABSTRACT

The research work has as aim analyze the performance of the small producers in the chain of value of the mezcal. 52 questionnaires were applied to small producers of mezcal in: Santiago Matatlán, San Dionysus Ocotepec and Warrior's Yutanduchi, identifying five links of the productive chain of the mezcal: suppliers of inputs, producers of aloe, distillers, canners and traders. In the last five years his financial growth was under, nevertheless, the producers they are very satisfied by the performance of his fence, perceive good results for the workers' efficiency, income for sales, loyalty and number of clients. In addition, they can cover basic needs of supply, pay services, send his children to the school, pay medical service and medicines, live well, invest



in his business and satisfy social needs. They realize environmental actions of reforestation, apply procedure of production, recycling and / or reutilization of residues. The distillation is the principal activity of the chain of value, in few proportion the packaging and commercialization, the performance has been low in financial growth with limited environmental actions, but with major satisfaction for the reached achievements, they perceive few monetary earnings like it was waiting, but they have managed to support in operation his fence, improved the quality, demand and price of mezcal.

Index words: Mezcal, value chain, financial performance, producers.

INTRODUCCIÓN

En Oaxaca, la producción del mezcal es una sus principales actividades con distinción internacional. En los últimos años ha aumentado la demanda del mezcal en mercado nacional e internacional, lo que supone que será uno de los principales ejes para el desarrollo de Oaxaca, en las regiones del mezcal, donde radican la mayoría de los productores del mezcal. En los Valles Centrales de Oaxaca (región Centro) se concentran el mayor porcentaje de población (54%) directamente involucrada con la elaboración de mezcal, donde se ubica el distrito de Tlacolula que concentra más del 50% de la población dedicada a la producción del mezcal (Granich, Giovannucci y Bautista, 2009).

Según el reporte del Plan rector del sistema nacional maguey mezcal, la palabra “Mezcal” tiene su origen en vocablos de la lengua náhuatl, que deriva de mexcalli (metl o meztli, significa Maguey, y de ixcalli, cocer) que puede traducirse como “Maguey cocido”. El Maguey, es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia agavaceae, misma que cuenta con más de 273 especies, a la cual pertenecen ocho géneros, entre ellos el género Agave. El nombre agave, proviene de agavus. En México, a los agaves se les conoce como Magueyes (SPMM, 2011).

Siguiendo el reporte del plan rector sistema nacional maguey mezcal (SPMM, 2011), la NOM-070-SCFI-1994 define al mezcal como una bebida alcohólica regional obtenida por destilación y rectificación de mostos preparados directa y originalmente con los azúcares extraídos de las cabezas maduras de los agaves, previamente hidrolizadas o cocidas, y sometidas a fermentación alcohólica con levaduras, cultivadas o no, siendo susceptible de ser enriquecido, para el caso del Mezcal tipo II, con hasta en 20% de otros carbohidratos en la preparación de dichos mostos, siempre y cuando no se eliminen los componentes que le dan las características a este producto, no permitiéndose las mezclas en frío.

Según el informe 2017 del Consejo Regulador del Mezcal (CRM, 2017), son nueve los estados de la república Mexicana con denominación de origen del Mezcal: Oaxaca, Guerrero, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Guanajuato, Tamaulipas, Michoacán y Puebla (CRM, 2017), en 2016 se tiene registrado mil 705 predios de maguey, 625 Productores de Mezcal, 301 Envasadores y 561 marcas o comercializadores. Del 2011 al 2017 la producción del mezcal ha aumentado de



980, 375 litros en 2011 a 3, 028,000 litros en 2016, lo que indica un acelerado crecimiento de la producción en los últimos 5 años.

Para Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2016) la incursión del mezcal en los mercados internacionales es relativamente reciente, que en 2015 alcanzó un volumen de comercialización de 1.9 millones de litros a destinos como Estados Unidos, Alemania, España y Reino Unido, con ventas estimadas en 16.7 millones de dólares. CRM (2017) reporta un crecimiento más del 500% del total de litros envasados para el mercado nacional que va de 270,426 litros en 2011 hasta alcanzar un millo 854 mil 840 litros en 2016, así como en el mercado internacional (exportación) con 647,989 litros en 2011 a 2, 013,184 litros en 2016 entre 52 países, siendo Estados Unidos el principal país donde se exporta el 63% del total de litros (CRM, 2017).

Sin embargo, este crecimiento del mercado, no se refleja en la economía de los pequeños productores ni de sus comunidades, que por generaciones han conservado esta tradición artesanal. Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2015) los productores enfrentan limitaciones para insertarse en el mercado internacional. La falta de información y apoyos, desconocimiento de los procedimientos, registros de marcas internacionales, certificaciones e información del consumidor, así como la falta de organización entre los eslabones de la cadena productiva, la incapacidad técnica-económica de las instituciones para la promoción y vigilancia del cumplimiento de la Norma de denominación de origen y si a esto se le agrega la falta de capacidad del sector para crear valores compartidos para sus stakeholders aumenta la brecha entre las grandes fábricas y los pequeños y medianos productores, además de un problema agotamiento de especies nativas del maguey por el manejo inadecuado e su inapropiada sobre explotación.

Para Neven (2015) reducir la brecha entre los grandes empresas y pequeños productores agrícolas se requiere de políticas de desarrollo de una cadena de valor sostenible que involucre a todos los actores desde la producción de materias primas, transformación, venta a consumidores finales y desechos después del uso, de forma que resulte rentable en todo momento, proporcione beneficios a sociedad y no consuma permanentemente los recursos naturales. Para esto se requiere analizar el desempeño y potencial de los pequeños productores para insertarse en un mercado global, Mendoza-Ramírez y Toledo-López (2014), define el desempeño de los pequeños productores con indicadores financiero y no financieros, como la percepción que los productores sobre el crecimiento en ganancias, ventas y desempeño general su negocios, así como la satisfacción personal y familiar que sienten al desempeñar su trabajo.

Así el objetivo de esta investigación es analizar el desempeño de los pequeños productores en la cadena de valor del mezcal. Esto para aportar evidencia empírica sobre el desempeño financiero, mercado y recursos de los pequeños productores originarios de las comunidades del mezcal, quienes por generaciones han conservado su tradición de producción del mezcal artesanal y que hoy en día buscan competir en un mercado global que va en crecimiento en la demanda de esta bebida tradicional de Oaxaca.



El resto del documento está integrado en tres secciones. Primero, se describen los métodos y materiales utilizados para la recolección de información, a través de un cuestionario semiestructurado que capturó la percepción de los productores sobre su desempeño. Segundo se describen y discuten los hallazgos del estudio, y tercero se dan las conclusiones del estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada en esta investigación fue cuantitativa, el estudio fue exploratorio de tipo transversal. El método de recolección de datos fue la encuesta, usando como instrumento de medición un cuestionario semi-estructurado, aplicado con la técnica de entrevistas cara a cara a 52 productores de mezcal en el distrito de Tlacolula, Ocotlán y Nochixtlan en Oaxaca. La unidad de análisis fueron los productores y comercializadores de mezcal. La selección de la muestra fue no probabilística por bola de nieve, el tamaño de la muestra fue a conveniencia, se encuestaron a los productores que aceptaron la invitación de los investigadores y la selección fue por su participación voluntaria

Descripción de los palenques de la muestra

La muestra quedó integrada por 52 productores y comercializadores de mezcal, distribuidos con 35 productores en Santiago Matatlan, distrito de Tlacolula, 9 en San Dionisio Ocotepec distrito de Ocotlan, 8 en Yutanduchi de Guerrero distrito de Nochixtlan.

Del total de los palenques encuestados el 61.5% se encuentran ubicados dentro de la ruta del mezcal, mientras que el 38.5% no. Del total de los palenques encuestados el 21.2% tiene de 1 a 5 años de operación, el 17.3% de 16 a 20 años, encontrando que existe una similitud del 9.6% entre los años 6 a 10, 11 a 15 años, y 31 a 35 años.

El 51.9% de los palenques fueron iniciados por los mismos productores de mezcal, mientras que el 48.5% lo heredaron de sus padres. De los cuales el 100% de los palenques operan con inversión propia. De estos palenqueros en Santiago Matatlan el 25.0% de los palenques tienen una marca registrada, en san Dionisio Ocotepec el 5.8% y en Yutanduchi de guerrero sólo el 1.9%. El 32.7% de palenqueros que tienen registro de marca y el 67.3% no tiene marca. Del total de los encuestados el 75% de los palenques tienen de 1 a 5 trabajadores, el 17.3% tiene de 6 a 10, el 3.8% de 11 a 15 y el 3.8% restante tiene de 16 a 20 trabajadores.

Descripción del entrevistado

Del total de las productores que respondieron el cuestionario, el 84.6% fueron los dueños de los palenques y el 15.4% fueron encargados, el 82.7% fueron hombres, y el 17.3% mujeres. La edad de los entrevistados fue variada, el 26.9% entre 31 y 40 años, el 21.2% entre 41 y 50 años, el 19.2% entre 51 y 60 años, el 17.3% de ellos se encuentran entre 18 y 30 años y finalmente el 15.4% son mayores de 60 años.



Del total de los entrevistados el 28.8% cuenta con estudios de primaria completa, con un porcentaje igual de 28.8% tiene la secundaria terminada, y el 21.2% tiene estudios de primaria inconclusos, el 15.4% cuenta con estudios de licenciatura, y un 5.7% de la población no tiene estudio. El 19.2% de los productores llevan de 16 a 20 años trabajando en la producción del mezcal, el 13.5% de los productores tiene entre 26 a 30 años de experiencia como productor.

La principal fuente de ingreso de los productores, para 88.5% la principal fuente de ingresos es la producción y comercialización del mezcal, otro porcentaje de 9.6% recibe ingresos por actividades realizadas en el campo, y un porcentaje muy pequeño de 1.9% tiene ingresos derivados de la ganadería, viéndose reflejado que la principal fuente de ingresos de los pequeños productores depende de actividades derivadas del mezcal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la cadena de valor del Mezcal en Oaxaca

La cadena de valor del mezcal la integran cinco principales eslabones de la cadena productiva del mezcal, proveedores de insumos, productores de maguey, palenqueros o destiladores (productores del mezcal) y envasadores y/o comercializadores (marcas) y consumidores (Tabla 1).

Tabla 1. Cadena de Valor del Mezcal

Proveedor	Productor de Maguey	Productor de Mezcal (destilador)	Envasador	Comercializador (Marca)	Consumidores
Envase, Equipos Etiquetas Embalaje viveros (materias primas varias)	Acopiador de piña	Palenqueros	Fabrica	Exportador Distribuidor Mayoristas intermediarios	Regional Nacional Internacional

Proveedores. Los proveedores son los principales actores y distribuidores de la materia prima, que la mayoría son de la región, quienes le venden al productor de mezcal y envasador los insumos y equipos, por ejemplo el molino de piedra, alambique (nuevo o reparación), botellas, ánforas, embalajes, etiquetas (serigrafía), servicios de mantenimiento y reparación de equipos, tinas de fermentación, ruedas, ollas de barro o cobre, leña, los viveristas quienes venden las plantaciones de maguey.

Productor de Maguey. Es la persona que se dedica a la siembra, cosecha y acopio del maguey (agave), preparación del terreno, colecta de agaves silvestre, es la principal fuente de materia



prima para la producción del mezcal, en esta actividad se encuentra que la mayoría de los productores de mezcal realizan también esta función.

Productor del Mezcal: es el destilador o conocido también como palenqueros que en su mayoría son los maestros mezcaleros, quien cuenta con un palenque para el destilado del mezcal, algunos de ellos cuenta ya con una certificación del Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM) y le venden a un envasador, que la mayoría de las veces es el mismo comercializadores, otros destilan y envasan para venderlo a un distribuidor, mayorista, exportador o intermediario. Pero la mayoría de (67% de los entrevistados) no tienen una certificación del COMERCAM, algunos los venden envasado en galones, litros sin etiquetas al mercado regional, otros a distribuidores nacionales que no requieren marca, y una minoría lo comercializa directamente el mercado local con marca no registrada.

Envasador. Es el que se encarga de envasar el mezcal proveniente de los palenques conocidos como fabricas del mezcal, cuentan con marca registrada y con la certificación del COMERCAM, pero también se pueden encontrar pequeños productores que envasan su producción para la comercialización. Los envases son variados desde botellas de vidrios nuevos hasta reciclados, galones de plásticos, no obstante los envasares certificados deben cumplir con las normas del COMERCAM en etiquetas, registros, marcas, botellas.

Comercializador: la mayoría de los comercializadores tiene una marca registrada, aunque también se encuentran casos en que solo son distribuidores regionales de mercado de consumo local y/o turismo. Los exportadores cumplen con normas internacionales (marca y etiqueta) ya que de esta manera tiene abierta las puertas para la exportación a nivel nacional o internacional, tiene las posibilidades de exhibir su producto para la venta en tiendas de autoservicio.

Principales actividades de la cadena de valor de los productores de la muestra

Las principales actividades que se llevan a cabo dentro de la cadena de valor del mezcal de los productores encuestados se encontró que el 67.3% de los productores se dedican a la par a dos actividades (siembra de agave y producción del mezcal); un 19.2% de los encuestados abarca más eslabones de la cadena productiva dedicándose a: siembra del agave, producción del mezcal, envasado del mismo y comercialización, y un porcentaje del 7.7% son envasadores y comercializadores, un 3.8% se dedica a siembra, producción y envasado; y con tan solo el 1.9% se dedica solo a comercializar el mezcal (Tabla 2).

Tabla 2. Principal actividad en la Cadena de Valor.

Actividad	Frecuencia	Porcentaje
Siembra y Produce	35	67.3
Siembra-Produce y Envasa	2	3.8
Siembra-Produce-Envasa-Comercializa	10	19.2
Envasa	1	1.9



Envasa-Comercializa	4	7.7
Total	52	100.0

El volumen de producción anual fue de una moda de 600 litros anuales y una media de 2100 litros y 19.2% de productores operan bajo la norma NOM-070-SCFI-1994 de denominación de origen regulado por el COMERCAM.

Desempeño de los Productores de Mezcal

El desempeño de los productores de mezcal me midió con dos dimensiones, el financiero y no financiero (Mendoza-Ramírez y Toledo-López, 2014). El desempeño Financiero se definió como el porcentaje de crecimiento financiero de los palenques en los últimos 5 años, así como el grado de satisfacción que el productor tiene sobre el desempeño financiero de su negocio y la frecuencia en que sus ingresos le permiten cubrir necesidades básicas. Esta medida fue subjetiva medida desde la percepción del productor, como lo refiere Mendoza-Ramírez y Toledo-López (2014) en el contexto de los pequeños productores la mayoría son de subsistencia que luchan todos los días en mercado para obtener ingresos para cubrir necesidades de alimentos para la familia, tienen bajo nivel educativo e ingresos bajos, la mayoría son informales y no tienen un registro diario de ventas ni anual de sus estados financieros en papel y la dificultad de conseguir esta información por la desconfianza del productor, la medida más válida es la percepción del productor sobre el crecimiento de su negocio en los últimos años de operación. El desempeño no financiero incluyó indicadores de acciones ambientales que el productor realiza en su palenque de manera cotidiana.

Desempeño Financiero

Para analizar el desempeño financiero de los productores de mezcal, se les preguntó sobre su percepción sobre el crecimiento de su palenque, que tanto los ingresos obtenidos de la venta del mezcal le alcanza para cubrir sus necesidades básicas familiares y su grado de satisfacción personal con el desempeño de su palenque y acciones ambientales que realiza.

Para medir el crecimiento del palenque preguntó a los productores sobre el porcentaje de crecimiento en ventas, ganancias, producción, trabajadores en los últimos dos años, y se encontró que la mayoría han aumentado sus ventas ($M=11.6346\%$, $SD=12.19616\%$), ingresos por ventas ($M=11.0577\%$, $SD=13.97956\%$), número de clientes ($M=9.8077\%$, $SD=12.83231\%$), la demanda ($M=9.1346\%$, $SD=15.33039\%$), volumen de producción ($M=8.8462\%$, $SD=15.03641\%$), ganancias ($M=8.8462\%$, $SD=11.94823\%$) entre un 8 y 11% en los últimos dos años. La mayoría de los productores manifestaron no haber crecido nado en los últimos años (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de desempeño económico en porcentaje de crecimiento.

En los últimos 2 años en que porcentaje han aumentado:	Media (%)	Desviación estándar
--	-----------	---------------------



Sus ventas	11.634	12.19
Su número de clientes	9.807	12.83
Sus ingresos por ventas	11.057	13.97
El valor de tu empresa	6.634	13.81
Sus ganancias por ventas	8.846	11.94
La demanda de sus productos	9.134	15.33
Su participación en otros mercados	3.942	9.61
Equipos de oficina	1.634	5.02
Equipos de producción	3.461	9.82
Equipos de embasamiento	3.750	10.28
Equipos de comercialización	1.538	5.00
Construcciones	2.788	10.30
Terrenos	1.057	5.71
Materias primas en almacén	3.269	7.91
Litros producidos	8.846	15.03
Diversificación de sus productos	4.230	8.18
Horas dedicadas a la producción	7.692	16.25
La cantidad de materia prima utilizada	8.235	14.20
Extensión de sembradíos de agave	5.288	10.45
Número de trabajadores	0.262	1.40

Para medir el que tanto los ingresos obtenidos del mezcal le alcanzan para cubrir necesidades familiares (Tabla 4) en una escala de 5 puntos (escala tipo Likert), donde 1 es nunca y 5 es siempre, se le preguntó al productor la frecuencia en la que los ingresos que obtienen de sus ventas de mezcal les alcanza para sustentar necesidades del hogar fue y se encontró que en promedio de respuesta fue de 2.511 (entre rara vez y a veces). Los productores perciben en su mayoría los ingresos que obtiene de la venta del mezcal les alcanza regularmente para cubrir sus necesidades de alimentación (M= 3.288, SD=1.3334), necesidades básicas de servicio (M= 3.176, SD=1.3521), mandar a sus hijos a la escuela (M=2.788, 1.5509), pagar un servicio médico y comprar medicinas (M=2.596, SD=1.4587), casi nunca le alcanza para vivir bien (M=2.500, SD=1.5016), invertir en su negocio (M= 2.481, SD=1.4884), satisfacer sus necesidades sociales (M= 2.231, SD=1.3665), remodelar su casa (M= 2.173, SD=1.5683), comprar algo de bienes familiares (M=2.000, SD= 1.4552) y no perciben tener un futuro asegurado en la producción del mezcal (M=1.880, SD= 1.4090).

Tabla 4. Cobertura de necesidades familiares de los ingresos por ventas.

Con qué frecuencia los ingresos de la venta de su mezcal le alcanzan para:	Media	Moda	Desviación estándar
Cubrir sus necesidades de alimentación	3.288	4.0	1.3334
Cubrir necesidades básicas de servicio (agua, luz, transporte)	3.176	4.0	1.3521
Pagar un servicio médico y comprar medicinas	2.596	2.0	1.4587
Mandar a sus hijos a la escuela	2.788	4.0	1.5509



Invertir en su negocio	2.481	1.0	1.4884
Remodelar su casa	2.173	1.0	1.5683
Comprar algo de bienes familiares	2.000	1.0	1.4552
Vivir bien	2.500	1.0	1.5016
Satisfacer sus necesidades sociales	2.231	2.0	1.3665
Tener un futuro asegurado	1.880	1.0	1.4090

Para medir el grado de satisfacción del productor sobre el desempeño financiero de su palenque (Tabla 5), en una escala tipo Likert de 1 a 5, donde 1 es insatisfecho y 5 completamente satisfecho, se le preguntó al productor sobre su grado de satisfacción sobre el crecimiento en ventas, ganancias, producción, empleos, clientes en los últimos dos años, la media de satisfacción fue de 2.8 (entre poco satisfecho y ni satisfecho ni insatisfecho), la moda fue de 2 (poco satisfecho). Los productores perciben mayor satisfacción en la eficiencia de los trabajadores (M= 3.346, SD=1.2027), ingresos por ventas (M= 3.154, SD=1.1094) y la lealtad de sus clientes (M=3.058, SD=1.3920), y entre poco satisfechos en el número de sus clientes que tienen (M=2.962, SD=1.3279), las ganancias (M=2.904, SD=1.2565), el volumen de producción (M= 2.827, SD=1.4782), en la porción del mercado al que atiende (M= 2.635, SD=1.4556), el número de empleados que tienen (M=2.288, SD= 1.5509) y los activos que han adquirido (M=2.135, SD= 1.4007).

Tabla 5. Grado de Satisfacción con el desempeño del negocio.

En los últimos dos años, qué tan satisfecho está con:	Media	Moda	Desviación estándar
Sus ingresos por ventas	3.154	3.0	1.1094
La eficiencia de los empleados	3.346	4.0	1.2027
El número de sus clientes que tiene su negocio.	2.962	4.0	1.3279
Las ganancias de su negocio	2.904	2.0	1.2565
La lealtad de sus clientes	3.058	3.0	1.3920
Los activos que ha adquirido (equipo, herramientas, local)	2.135	1.0	1.4007
El volumen de producción	2.827	2.0	1.4782
El número de empleados que tiene	2.288	1.0	1.5509
La porción del mercado al que atiende	2.635	2.0	1.4556

Finalmente para medir el desempeño no financiero de los productores del mezcal se les preguntó sobre las acciones de manejo de residuo en los palenques como parte de las acciones de responsabilidad ambiental (Tabla 6), en una escala de 5 puntos (escala tipo Likert), donde 1 es nunca y 5 es siempre, se les preguntó la frecuencia en que realizan acciones en manejo de residuos, la media fue 2.38 (casi nunca y regularmente), la mayoría fue con una moda de 1 (nunca) identificando de esta manera que los indicadores resultantes son muy bajos. Según la media regularmente reutiliza el bagazo para hacer compostas (M= 3.808, SD=1.6093), separa la basura (M= 3.154, SD=1.7533), casi nunca reutiliza los plásticos, cartón, hule, otros (M=2.462, SD=1.5141), recicla los embalajes y envases defectuosos (M=1.962, SD=1.4814), cambia sus



equipos obsoletos por equipos nuevos ($M=1.808$, $SD=1.1383$) y vende los plásticos, hule, cartón, vidrio, metales, etc. que genera en su palenque ($M= 1.481$, $SD=1.0935$).

Tabla 6. Manejo de residuos en palenques.

En los últimos dos años, con qué frecuencia ha:	Media	Moda	Desviación estándar
Reutilizado el bagazo (para abono, composta)	3.808	5.0	1.6093
Cambiado sus equipos obsoletos por equipos nuevos	1.808	1.0	1.1383
Quemado la basura (plásticos, hule, papel, leña etc.)	2.019	1.0	1.4752
Separado la basura (orgánica e inorgánica)	3.154	5.0	1.7533
Vendido los plásticos, hule, cartón, vidrio, metales, etc.	1.481	1.0	1.0935
Que genere			
Reutilizado los plásticos, cartón, hule, otros	2.462	1.0	1.5141
Reciclado los embalajes y envases defectuosos.	1.962	1.0	1.4814

CONCLUSIONES

La cadena de valor del mezcal resulta ser muy compleja ya que los eslabones que la conforman son muy extensos. La mayoría de los productores del mezcal se quedan como destiladores conocidos para el mercado como maestros mezcaleros, su producción se vende a los envasadores u otros productores con marcas registradas y denominación de origen. Estos productores enfrentan problemas de abastecimiento de materia prima (maguey), principalmente el agave silvestre, así como el aumento de precio de esta materia prima.

El desempeño de los productores del mezcal, en términos financieros ha sido muy bajo, entre el 8-11% en los últimos dos años de operación de los palenques, aun cuando la demanda del mezcal ha ido en aumento en cientos por ciento, para los pequeños productores no se ha reflejado en sus ingresos, esto se debe a que el 80.5% de los productores de este estudio no tienen una certificación con la NOM-070-SCFI-1994 de denominación de origen, lo que no les permite conseguir un mercado ni mejor precio para su producto, a esto se le agrega que la mayoría son pequeños productores con bajos volúmenes de producción que apenas les alcanza para cubrir necesidades básicas familiares, son productores de bajos ingresos y nivel educativo e informales. No obstante han percibido un aumento en la demanda y producción, por lo que se encuentran satisfechos en el desempeño de sus palenques, poco a poco están recuperando su actividad que ya había sido abandonada por falta de ventas, se percibe un entusiasmo por parte de los productores para recuperar una de sus actividades artesanales y ancestrales.

El volumen de producción promedio es de 2100 litros anuales, lo que indica un bajo volumen de producción de estos pequeños productores que no están certificados bajo la norma NOM-070-SCFI-1994 del COMERCAM, ya que manifiestan desconocimiento en la operación de la norma, costos además de la falta de un nivel educativo para operar, poca infraestructura, etc.. Sin embargo, reconocen que en los últimos dos años aumentó el precio del mezcal y es mejor estar certificado para conseguir un mejor precio para su producción. El mercado del mezcal es muy



amplio; hay productores que venden su mezcal a granel (misceláneas, diversos eventos sociales, intermediarios), pero existe una minoría (19.5%) del estudio que operan con la certificación, quienes han despuntado en sus ventas hasta 250 mil litros anuales con coberturas en mercados nacionales e internaciones, con marca propia y participación en toda la cadena productiva del mezcal.

En lo que refiere a las acciones ambientales que realizan los productores de mezcal se concluye que hay mucho que hacer en este indicador, ya que la mayoría lo único que realiza como una acción de conocimiento tradicional es el aprovechamiento del gabazo (desecho del maguey), que lo utilizan para abono del mismo agave en plantación. La mayoría no hacen uso de agroquímicos en sus procesos de producción, siguen llevando a cabo las prácticas de sus antepasados por lo que puede ser considerado como un producto orgánico amigable con el medio ambiente no existe tal regulación para la certificación. El agua que se utiliza para la destilación la cual una vez que está fría la aprovechan para regar las plantas generando así una cadena en donde se aprovecha al máximo la materia prima y se consigue proteger al medio ambiente, aunque en lo que se refiere a los plásticos, cartón y en algunos casos embalajes defectuosos no realizan buenas practicas puesto que en ocasiones se les facilita más quemarlos que reciclarlos, venderlos o en su caso reutilizarlos, lo que nos lleva a la necesidad de definir medidas para que los productores tengan un mejor manejo de los desechos de empaques y embalajes.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento del proyecto Cadena de valor del mezcal en Oaxaca, desde la perspectiva de la co-creación de valor sustentable, SIP 20161442.

LITERATURA CITADA

- Consejo Regulador del Mezcal (CRM) 2017. Informe 2017. Oaxaca, Oax 2017 (Consultado: 18/05/2017). Disponible en: http://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2016.pdf
- Granich, Iiisley C., D. Giovannucci y C. Bautista. 2009. La dinamica territorial de la zona mezcalera de Oaxaca. Entre la Cultura y el Comercio. GEA, A.C. Mexico, D.F. 2009 (Consultado: 20/02/2017). Disponible en http://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2013/03/22_rimisp_Cardumen1.pdf
- Mendoza-Ramírez, L., and A. Toledo-López. 2014. Strategic orientation in handicraft subsistence businesses in Oaxaca, Mexico. *Journal of Marketing Management*. 30(5-6): 476-500.
- Neven, D. 2015. Desarrollo de cadenas de valor alimentarias sostenibles Principios rectores. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, It. 2015 (Consultado: 20/02/2017). Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3953s.pdf>
- Sistema Producto Maguey Mezcal (SPMM). 2011. Plan Rector Sistema Nacional Maguey Mezcal. Durango, Dgo. 2011 (Consultado: 25/02/2017). Disponible en http://www.sientemezcal.com/docs/PRNMEZCAL_MODIF_cifras_2010.pdf



- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. SAGARPA impulsa a productores oaxaqueños de mezcal artesanal comunicado de prensa. México, D.F. 2015 (Consultado: 20/05/2017) Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/oaxaca/boletines/2015/julio/Documents/2015B164.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2016. Tequila y Mezcal, tradición mexicana en el mundo. México, D.F. 2015 (Consultado: 20/05/2017) Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/yucatan/Boletines/2016/septiembre/Documents/201609B147.PDF>