



*Revista Mexicana de Agroecosistemas*  
Vol. 5 Núm. 2 Julio – Diciembre, 2018 ISSN: 2007-9559

# *Revista Mexicana de Agroecosistemas*

Oaxaca, Volumen V, Número 2, 2018



Foto: *Maíz azul de la Mixteca oaxaqueña*

# *Revista Mexicana de Agroecosistemas*



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca





**REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS**, Vol. 5, Núm. 2 Julio – Diciembre 2018, 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.

Responsable de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, <http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/inicio.html>, [rmae.itvo@gmail.com](mailto:rmae.itvo@gmail.com). Fecha de última modificación, 20 de diciembre de 2018.

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. José Raymundo Enríquez del Valle  
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz  
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez  
Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo  
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  
M.C. Nohemí Vianney Victoria Villa

### **Diseño de portada**

Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez



## **Comité de arbitraje en este número**

Dr. Joaquín Alberto Rincón Ramírez (COLPOS-CAMPUS TABASCO)

Dr. Rodolfo de los Santos Romero (ITVO)

Dra. Nancy Gabriela Molina Luna (ITVO)

Dr. Jaime Manuel Calderon Patrón (DEPI-ITVO)

M. Sc. Benjamín Baca Ruiz (INDUSTRIAL MADERERO)

Dr. José C. Leyva López (ITVO)

M. C. Neftalí Reyes Zurita (ITVO)

M. C. Nohemi Vianney Victoria Villa (ITVO)

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo (DEPI-ITVO)

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz (DEPI-ITVO)

Dra. Martha P. Jerez Salas (DEPI-ITVO)

Dr. José C. Carrillo Rodríguez (DEPI-ITVO)

Dr. José R. Enríquez del Valle (DEPI-ITVO)

Dr. Vicente A. Velasco Velasco (DEPI-ITVO)

Dra. Gisela M. Santiago Martínez (DEPI-ITVO)

Dra. Gisela V. Campos Angeles (DEPI-ITVO)

M.C. María I. Pérez León (DEPI-ITVO)

Dr. Yuri Villegas Aparicio (DEPI-ITVO)

M. C. Gustavo Díaz Zorrilla (DEPI-ITVO)



## 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 agrícolas, 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.voaxaca.tecnm.mx/revista/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.

En este número presentamos editados como artículos de investigación: varios aspectos en el cultivo de maíz, agave, y suelos, otros estudios sobre especies sinantrópicas como *Didelphis virginiana*, además, cultivo de tilapia y especies marinas importantes como el camarón.

**ATENTAMENTE**

**Comité editorial**



	Contenido	Pág.
<b>Artículos de investigación</b>		
1	<b>EFFECTO DE LA VINAZA EN EL CULTIVO DE MAÍZ / EFFECT OF VINASSE ON MAIZE</b> <b>José Antonio Fernández-Viveros, Ignacio Garay-Peralta, Jacel Adame-García y Félix David Murillo-Cuervas .....</b>	<b>79 – 87</b>
2	<b>RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD DE HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ CULTIVADOS EN EL CENTRO DE CHIAPAS, MÉXICO / YIEL AND STABILITY OF EXPERIMENTAL MAIZE HYBRIDS CULTIVATED IN THE CENTER OF CHIAPAS, MEXICO</b> <b>Néstor Espinosa Paz, Jesús Martínez Sánchez, Rafael Ariza Flores, Pedro Cadena Iñiguez, Ana Laura Ramírez Córdova y Yuri Villegas Aparicio .....</b>	<b>88 – 97</b>
3	<b>ORGANOGENESIS <i>in vitro</i> EN TEJIDOS DE TALLO DE <i>Agave marmorata</i> Y <i>Agave angustifolia</i> / <i>In vitro</i> ORGANOGENESIS ON STEM TISSUES OF <i>Agave marmorata</i> AND <i>Agave angustifolia</i>.</b> <b>Lizbeth López Acevedo, Yaneth Elisea Merino Pérez, José Raymundo Enríquez del Valle. Gerardo Rodríguez-Ortiz y Zoila Carmen Lagunas Sánchez .....</b>	<b>98 – 105</b>
4	<b>CRECIMIENTO Y CONDICIÓN NUTRIMENTAL DE PLANTAS MICROPROPAGADAS DE <i>Agave angustifolia</i> ABONADAS Y FERTIRRIGADAS EN VIVERO / GROWTH AND NUTRITIONAL CONDITION OF MICROPROPAGATED <i>Agave angustifolia</i> PLANTS MANURED AND FERTIGATED IN NURSERY</b> <b>José Raymundo Enríquez del Valle, Gerardo Rodríguez Ortiz, Judith Ruiz Luna, Antonia Jesús Pacheco Ramírez y Lourdes Vásquez Vásquez .....</b>	<b>106 - 115</b>
5	<b>CONTENIDO DE CORTISOL Y CORTICOSTERONA EN PLASMA, SALIVA Y HECES DE TLACUACHES (<i>Didelphis virginiana</i>) MACHOS HABITANTES DE UNA LOCALIDAD SUBURBANA DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA / LEVELS OF CORTISOL AND CORTICOSTERONE IN PLASMA, SALIVA, AND FECES OF MALE OPOSSUMS (<i>Didelphis virginiana</i>) INHABITANTS OF A SUBURBAN AREA IN THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA.</b> <b>Rosa María Gómez Ugalde, José Alfredo Martínez Lucero, Eufronio Reyes López, Arturo Salame-Méndez, María Isabel Pérez León y Rodolfo Benigno de los Santos Romero .....</b>	<b>116 – 128</b>



6	<b>CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DE LA TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>) CULTIVADA EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA / GENETIC VARIATION OF THE TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>) CULTIVATED IN THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA</b>	
	Rodolfo Benigno de los Santos-Romero, María Isabel Pérez-León, Héctor Maximino Rodríguez-Magadan, Ivonne Caballero-Sánchez, Jacobo Montes-Yedra y Rosa María Gómez-Ugalde .....	129 – 135
7	<b>VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS AMBIENTALES QUE INCIDEN EN EL CULTIVO DE CAMARÓN <i>Litopenaeus vannamei</i>, COYUCA DE BENÍTEZ, GUERRERO, MÉXICO / ENVIRONMENTAL PHYSICO-CHEMICAL VARIABLES THAT AFFECT THE SHRIMP FARMING <i>Litopenaeus vannamei</i>, COYUCA DE BENÍTEZ, GUERRERO, MEXICO</b>	
	Silberio García Sánchez, Alejandro Juárez Agis, Branly Olivier Salome, Mayra Rivas González y Jacqueline Zeferino Torres .....	136 – 156
8	<b>LOS SUELOS DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA / THE SOILS OF CENTRAL VALLEYS OF OAXACA</b>	
	Pedro Saúl Vásquez-Rasgado y Gerardo Rodríguez-Ortiz .....	157 - 168
9	<b>RESPUESTAS FENOTÍPICAS DE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ AZUL A EFECTOS AMBIENTALES / PHENOTYPIC RESPONSES OF BLUE MAIZE POPULATIONS TO ENVIRONMENTAL EFFECTS</b>	
	Socorro Morales-Flores, José L. Chávez-Servia, José C. Carrillo-Rodríguez, Gerardo Rodríguez-Ortiz.....	169 - 185



## DIRECTORIO

Dr. Enrique Fernández Fassnacht- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Rubén Posada Gómez- Director de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

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

M. C. C. Olga Leyva Juárez Osorio- Subdirección Académica (ITVO)

Dra. Gisela Virginia Campos Angeles- Jefa (DEPI-ITVO)

### Mayores informes:

**Revista Mexicana de Agroecosistemas**

Domicilio conocido

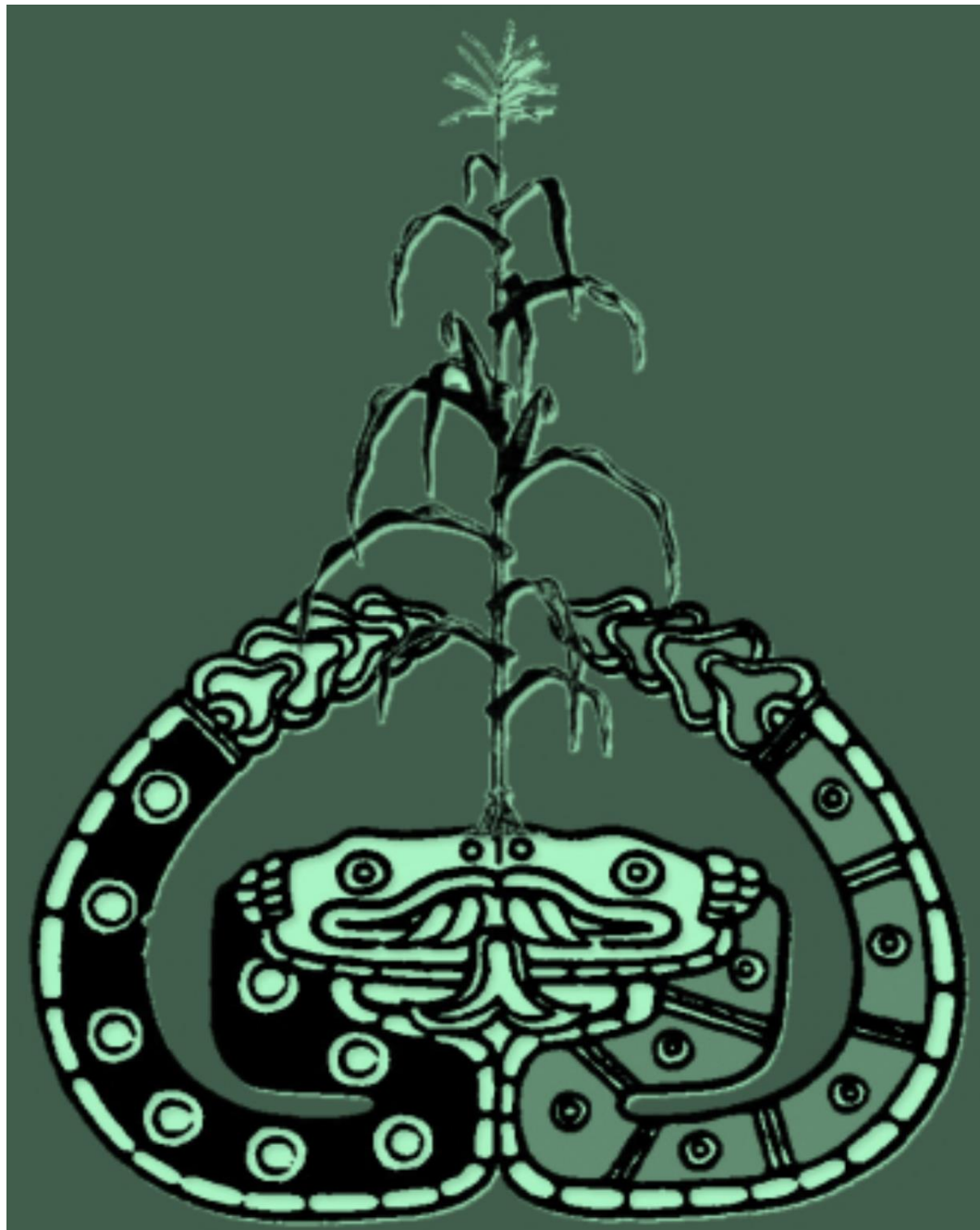
Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71233

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

Correo: rmae.itvo@gmail.com

<http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/inicio.html>



## EFFECTO DE LA VINAZA EN EL CULTIVO DE MAÍZ<sup>1</sup>

### [EFFECT OF VINASSE ON MAIZE CROP]

José Antonio Fernández-Viveros<sup>1§</sup>, Ignacio Garay-Peralta<sup>1</sup>, Jacel Adame-García<sup>1</sup>, Félix David Murillo-Cuervas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TecNM/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. KM 4.5 Carretera Cardel Chachalacas, Úrsulo Galván C. P. 91667, Veracruz, México. Tel. 01 (800) 570 8097 o 01 (296) 9625029. gapimaster18@gmail.com, jadameg@gmail.com, felix.murillo.itug@gmail.com. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (jose.antonio.itug@gmail.com).

### RESUMEN

Dentro de la producción de alcohol a partir de caña de azúcar, se genera un subproducto, la vinaza de la que se obtienen aproximadamente 13 L por cada litro de alcohol, para poder evitar que la vinaza se convierta en un contaminante ambiental es necesario lograr un aprovechamiento productivo de la misma. Por lo que en este trabajo se estudió el efecto de la aplicación de vinaza como fuente de abono para el cultivo de maíz. Los tratamientos constaron de la aplicación de cuatro dosis de vinaza (25, 50, 75 y 100%) y como testigo la fertilización química NPK (150-60-00). La vinaza utilizada provino del Ingenio La Gloria Veracruz. Se realizó un análisis fisicoquímico al suelo antes de que se aplicarán los tratamientos, se realizaron cuatro cortes, a los tejidos vegetales realizándoles la prueba de humedad, se determinaron los minerales por absorción atómica y las proteínas se determinaron por método de Microkjendahl. Al evaluar los tratamientos, las fechas de corte e interacción tratamiento por corte registraron diferencias significativas en cuanto al contenido de humedad. El contenido de proteína, en el testigo y el tratamiento con 100% de vinaza fueron los que registraron el menor contenido de proteína en el maíz, los tratamientos con 100, 50 y 25% de vinaza fueron superiores en contenido de Mg. Al aplicar vinaza al cultivo de maíz como abono orgánico resulta viable debido que las plantas de maíz se desarrollaron sin problemas.

**Palabras clave:** Abono orgánico, alcoholera, caña azúcar, residuos agroindustriales.

### ABSTRACT

Within the production of alcohol from sugarcane, a subproduct is generated, the vinasse from which approximately 13 L per liter of alcohol is obtained, in order to prevent the vinasse from becoming an environmental pollutant, it is necessary to achieve a productive use of it. The effect of vinasse application as a source of organic fertilizer for maize cultivation was studied. The treatments consisted of the application of four doses of vinasse (25, 50, 75 and 100%) and as a control a chemical fertilization NPK (150-60-00). The vinasse used came from the Ingenio La Gloria Veracruz. An oil physicochemical analysis was carried out before the treatments were applied, four cuts were made, a test of moisture the vegetal tissues was carried out, the minerals were determined by atomic absorption and the proteins were determined by Microkjendahl method. When evaluating the treatments, the cutting dates and interaction treatment per cut registered significant differences in terms of moisture content. The content of protein, in the

---

<sup>1</sup> Recibido: 23 de abril de 2018  
Aceptado: 10 de diciembre de 2018

control and the treatment with 100% of vinasse were those that registered the lower content of protein in the corn, the treatments with 100, 50 and 25% of vinasse were superior in content of Mg. The vinasse can contribute in the fertilization of the soils, as long as it is carried out in a sustainable way.

**Index words:** Organic fertilizer, ethanol industry, sugarcane, agroindustrial waste.

## INTRODUCCIÓN

Los residuos agroindustriales presentan el problema de que no se cuentan una conciencia ambiental para su manejo, además que no se quiere invertir en darles un destino final adecuado, además de no tener una legislación que promueva la gestión de este tipo de residuos, que permita asegurar el buen manejo del residuo desde su generación hasta su disposición final, aunque esta problemática prevalece a nivel mundial (Becerra, 2010).

Un ejemplo son los desechos de la industria azucarera y sus derivados que, si se manejaran de la forma adecuada, pueden convertirse en subproductos con valor económico y a la vez se puede evitar el impacto al ambiente. Por eso resulta importante contar con medidas para reducir su volumen y agresividad a través de su utilización en la obtención de biogás, recirculación de un porcentaje de vinaza en la fermentación, como fertilizante orgánico, en la obtención de proteína celular, o concentrándolo para alimento animal (Madejón *et al.*, 2011).

Resulta de gran beneficio el emplear residuos agroindustriales como biofertilizantes, sin embargo, se requiere que éstos sean caracterizados, debido a su variable composición (Barbazán *et al.*, 2011). En este sentido como parte la fabricación del alcohol a partir de caña de azúcar, se obtiene la vinaza como subproducto, la cual es el principal residuo, ésta se produce en una proporción estimada de 13:1, es decir, por cada litro de alcohol se obtienen 13 L de vinaza (Cuellar *et al.*, 2002). Esta proporción puede variar entre 10:1 y 15:1, variando según las características de la materia prima y el proceso de producción (Da Silva, 2014). Debido al gran volumen de vinaza que se produce, resulta necesario lograr una utilización productiva de ésta para evitar que se transforme en un pasivo ambiental (Del Pino *et al.*, 2017). En algunos países para obtener una vinaza más concentrada han recurrido a realizar cambios en el proceso de fabricación de alcohol. De acuerdo a Ferreira y Montenegro (1987) en Colombia la industria de licores produce 2.5 L de vinaza con 55% de sólidos totales por cada litro de alcohol producido.

Debido a la gran cantidad que se obtiene de este subproducto, la industria de la caña de azúcar específicamente la alcohólica presenta continuamente problemas, porque la vinaza tiene un alto potencial de contaminación en comparación con otros residuos orgánicos, presenta una alta carga orgánica y presenta compuestos con estructuras químicas complejas y difíciles de degradar como las melanoidinas, que le confieren un intenso color marrón (González *et al.*, 2006; Wadt, 2008).

Pese a ello, la vinaza se puede emplear como abono orgánico y se ha aplicado en el campo principalmente cañero, sin embargo, no todos los cultivos reaccionan de la misma manera a la aplicación de la vinaza como abono orgánico, su aplicación baja el pH y se presupone la disminución de la asimilación de los nutrientes. Las vinazas presentan pH ácidos y un elevado

contenido de carbono orgánico, potasio, calcio, magnesio, azufre y concentración electrolítica (Gómez y Rodríguez, 2000). En la actualidad se usan como abonos orgánicos por los elevados contenidos de potasio, sin embargo, la elevada DBO (demanda bioquímica de oxígeno) hace que sean altamente contaminantes en los cuerpos de agua (Subirós y Molina, 1992; Quintero, 2004).

Un pH bajo, conductividad eléctrica, y los elementos químicos presentes en la vinaza de caña de azúcar pueden causar cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo, y descargas frecuentes durante un largo período de tiempo pueden provocar efectos adversos en la biota en general (Christofolletti *et al.*, 2013). Por lo que se requieren recomendaciones específicas para cada condición edafoclimática y así evitar daños al medio ambiente cuando se use la vinaza como abono (Mello *et al.*, 2013). Debido a que solamente una parte de los nutrientes de los residuos está disponible para las plantas, lo cual resulta complicado al establecer las dosis de aplicación que satisfagan los requerimientos de los cultivos (Moore *et al.*, 2010).

La vinaza contiene principalmente materia orgánica, potasio (K), azufre (S), magnesio (Mg), nitrógeno (N) y calcio (Ca); sin embargo, esta composición es variable según provenga de melazas, jugo o la mezcla de ambos (Da Gloria y Orlando, 1983). La vinaza es una buena opción debido a los nutrientes que pueden aportar ya que favorecen la sustitución de los fertilizantes químicos (NPK) que tanto cuestan al país (Pineda-Ruiz *et al.*, 2015).

Cuando se intenta utilizar materiales de los que no se tienen antecedentes en la producción, es necesario estudiar su efecto sobre las propiedades del suelo y su aporte de nutrientes a los cultivos (Gale *et al.*, 2006; Del Pino *et al.*, 2012). Dado que los antecedentes sobre el uso de la vinaza en maíz son muy escasos además de que se presenta el desafío de proponer su utilización como abono orgánico, se planteó el presente trabajo en el que determinó el efecto de distintas concentraciones de vinaza sobre plantas de maíz en condiciones de campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó una parcela experimental del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (19° 24' 54.17" N y 96° 21' 31.39" O) con una altitud de 12 m. En la cual se estableció el cultivo de maíz para la temporada febrero-junio 2017 en un área de 800 m<sup>2</sup>, cada unidad experimental fue de 20 m<sup>2</sup>, en las cuales se encontraban 40 unidades experimentales, se empleó el híbrido Asgrow 7573 el cual se estableció a una distancia entre surcos de 80 cm y entre plantas de 20 cm, lo que generó una densidad de población de 62,500 plantas ha<sup>-1</sup>.

Se realizaron cuatro riegos, debido a la presencia de precipitaciones durante el establecimiento de los cultivos. La vinaza se empleó directamente como se obtiene de la alcoholera la cual se consideró como 100%, se realizaron diluciones con agua para obtener los cuatro tratamientos de vinaza: T1 (25% vinaza), T2 (50% vinaza), T3 (75% vinaza), T4 (100% vinaza), el T5 Fertilización química (150-60-00) y T6 Testigo absoluto (sin fertilización). Distribuidos en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La vinaza utilizada provino del Ingenio La Gloria Veracruz. La vinaza se usó a temperatura ambiente de 23 °C y se aplicó directamente a los suelos de acuerdo a los tratamientos.

Se realizó un análisis fisicoquímico al suelo antes de que se aplicarán los tratamientos, se determinó el pH, textura, potasio, materia orgánica, fósforo, nitrógeno, calcio, magnesio, sodio, densidad aparente (DAP). Para el caso de los cultivos se realizaron cuatro cortes, para el maíz cada 20 días después de la germinación. A los tejidos vegetales de les realizó la prueba de humedad tomando muestra que contenía punta, tallo, hoja y raíz. Por medio de digestión por vía seca, se determinaron los minerales (calcio, magnesio y potasio) en equipo de absorción atómica y las proteínas se determinaron por método de Microkjendahl con muestras por duplicado.

Los datos generados se analizaron a través de un diseño bifactorial, teniendo como factores los tratamientos con cinco niveles (25, 50, 75, 100% y testigo) y las fechas de corte con cuatro niveles (1°, 2°, 3° y 4° corte). Los datos se transformaron a  $\sqrt{+0.5}$  para normalizarlos y poder realizar un ANOVA con interacción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se evaluaron algunos parámetros que permitan determinar si el usar la vinaza como abono orgánico en maíz resulta viable, por lo que se estableció este trabajo en un suelo que presentó un pH de 6.23, con una textura arcillo-arenoso, con alto contenido de potasio 0.6205 Cmol kg<sup>-1</sup>, 5.49% de materia orgánica, 22.32 ppm de fósforo, 0.22% de nitrógeno, con respecto al calcio presentó 8.3253 Cmol kg<sup>-1</sup> 2.9624 Cmol kg<sup>-1</sup> de magnesio, 1.82 de DAP (g cm<sup>-3</sup>) y 0.4071 Cmol kg<sup>-1</sup> de sodio.

Es importante contar con un análisis de suelo antes de aplicar la vinaza para tener una referencia de cómo estaba el suelo y cómo estará después de determinado tiempo aplicando la vinaza. Como lo mencionan Quiroz *et al.* (2011) que al aplicar la vinaza al suelo se pueden generar en él cambios en algunas de sus características físicas, químicas y biológicas. Lo cual puede provocar que los cultivos que se establezcan en estos suelos con vinaza no puedan aprovechar de manera significativa los nutrientes, situación que, de acuerdo a los resultados obtenidos, en maíz no se presentó.

Al evaluar los indicadores en el cultivo de maíz, los tratamientos, las fechas de corte e interacción tratamiento x corte registraron diferencias significativas en cuanto al contenido de humedad en el maíz ( $F_{4, 56}=8.93$ ,  $p=0.0001$ ;  $F_{3, 56}=6.79$ ,  $p=0.0006$ ;  $F_{12, 56}=2.28$ ,  $p=0.0195$  respectivamente). El testigo y el tratamiento con 100% de vinaza fueron los que registraron el menor contenido de humedad en maíz, los cuales fueron significativamente diferentes a los demás tratamientos, los cuales no registraron diferencias significativas entre sí (Cuadro 1). El primer corte registró la mayor cantidad de humedad de las muestras, con diferencias significativas en relación al segundo y cuarto corte (Cuadro 1). En cuanto a la interacción, todos los tratamientos registraron los mayores valores de contenido de humedad a la primera fecha de corte y los menores valores fueron registrados por el testigo y el tratamiento del 100% de vinaza al segundo y cuarto día. Una ventaja de la vinaza, es ser líquida, lo que le permite satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, así como favorecer la degradación de la materia orgánica, principalmente.

Otro indicador fue el contenido de proteína, en el cual se registraron diferencias altamente significativas en los tratamientos ( $F_{4, 132}=10.12$ ,  $p=0.0001$ ), fechas de corte ( $F_{3, 132}=17.88$ ,  $p=0.0001$ ) e interacción tratamiento x fecha ( $F_{12, 132}=6.48$ ,  $p=0.0001$ ). El testigo y el tratamiento

con 100% de vinaza fueron los que registraron el menor contenido de proteína en el maíz, los cuales fueron significativamente diferentes a los demás tratamientos, los cuales no registraron diferencias significativas entre sí. El tercer corte registró la mayor cantidad de proteína en las muestras, siendo significativamente diferente a los otros cortes (Cuadro 1). En cuanto a la interacción, los tratamientos con 75 y 25% de vinaza registraron los mayores valores de contenido de proteína en la tercera fecha de corte, siendo significativamente diferentes a las demás interacciones.

**Cuadro 1. Contenido de humedad y proteína para tratamientos y fecha de corte.**

Tratamientos	Contenido de humedad (%)	Contenido de proteína (%)	Corte	Contenido de humedad (%)	Contenido de proteína (Cmol kg <sup>-1</sup> )
Testigo	64.8 ± 3.3 b	0.90 ± 0.12 b	1°	81.6 ± 1.4 a	1.02 ± 0.14 b
25%	80.4 ± 1.5 a	2.01 ± 0.28 a	2°	68.9 ± 4.3 b	1.46 ± 0.16 b
50%	79.5 ± 1.8 a	1.77 ± 0.21 a	3°	75.1 ± 1.2 ab	2.81 ± 0.39 a
75%	77.4 ± 1.6 a	2.45 ± 0.43 a	4°	67.7 ± 3.5 b	1.26 ± 0.13 b
100%	64.2 ± 5.3 b	1.03 ± 0.11 b			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). Se incluye la media ± error estándar.

Cuando la vinaza se diluye presenta la característica de ser rica en sulfatos, y que si se aplica en bajas concentraciones resulta benéfico para el desarrollo vegetativo debido a que esta forma química la captan las plantas y pueden reducirla a través de su metabolismo para la síntesis de proteínas, hormonas, aceites y otros compuestos volátiles.

Cuando la vinaza se diluye presenta la característica de ser rica en sulfatos, y que si se aplica en bajas concentraciones resulta benéfico para el desarrollo vegetativo debido a que esta forma química la captan las plantas y pueden reducirla a través de su metabolismo para la síntesis de proteínas, hormonas, aceites y otros compuestos volátiles.

Para el contenido de calcio en maíz, se registraron diferencias significativas sólo para los tratamientos ( $F_{4, 56}=5.59, p=0.0007$ ) y fechas de corte ( $F_{3, 56}=6.16, p=0.0011$ ), la interacción no registro significancia ( $F_{12, 56}=1.28, p=0.2557$ ). El tratamiento con 100% de vinaza fue el que registró el maíz con mayor contenido de calcio, el cual fue significativamente diferente al testigo y a los tratamientos con el 25 y 75% de vinaza, los cuales no registraron diferencias significativas entre sí. El primer y tercer corte registraron la mayor cantidad de calcio en las muestras, siendo significativamente diferentes a los otros cortes (Cuadro 2).

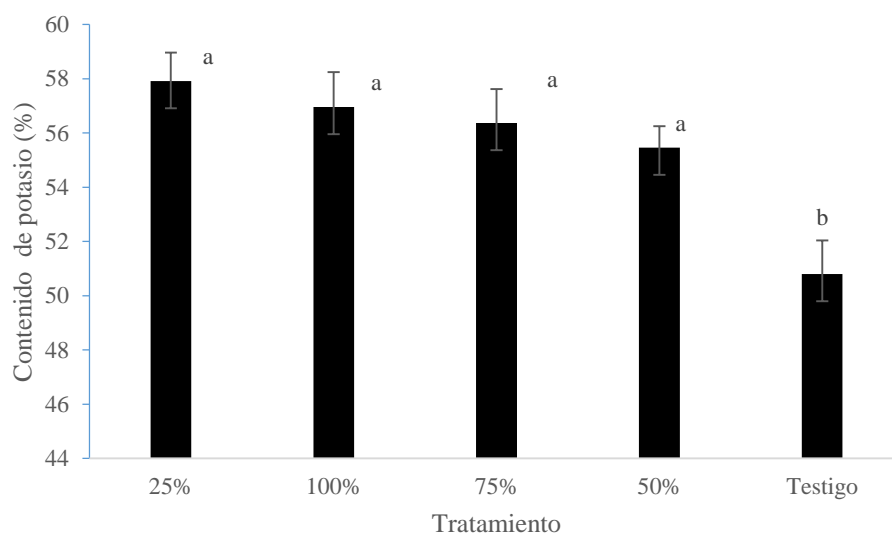
**Cuadro 2. Contenido de calcio y magnesio para tratamientos y fecha de corte.**

Tratamientos	Contenido de calcio (Cmol kg <sup>-1</sup> )	Contenido de magnesio (Cmol kg <sup>-1</sup> )	Corte	Contenido de calcio (Cmol kg <sup>-1</sup> )	Contenido de magnesio (Cmol kg <sup>-1</sup> )
Testigo	7.34 ± 1.51 b	4.48 ± 1.51 b	1°	16.72 ± 2.63 a	13.79 ± 1.38 a
25%	10.85 ± 2.04 b	8.95 ± 0.98 a	2°	7.57 ± 1.34 b	5.37 ± 0.77 b
50%	13.42 ± 4.38 ab	7.89 ± 1.47 a	3°	17.88 ± 4.39 a	5.84 ± 1.22 b
75%	9.09 ± 2.82 b	7.07 ± 1.60 ab	4°	7.57 ± 1.34 b	5.37 ± 0.77 b
100%	21.47 ± 3.16 a	9.57 ± 1.60 a			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). Se incluye la media ± error estándar.

Para el contenido de magnesio, se registraron diferencias significativas en los tratamientos ( $F_{4, 56}=4.81$ ,  $p=0.0021$ ), fechas de corte ( $F_{3, 56}=16.95$ ,  $p=0.0001$ ) e interacción tratamiento x corte ( $F_{12, 56}=3.44$ ,  $p=0.0008$ ). Los tratamientos con 100, 50 y 25% de vinaza fueron superiores en contenido de magnesio y significativamente diferentes al testigo, el tratamiento con 75% de vinaza resulto igual a todos los tratamientos y testigo. El primer corte registró la mayor cantidad de contenido de magnesio en las muestras, siendo significativamente diferente a los otros cortes (Cuadro 2). En la interacción el tratamiento con el 100% de vinaza en la primera fecha de corte fue la que registró el mayor contenido de magnesio y los tratamientos testigo y 75% de vinaza en los demás cortes fueron las interacciones de menor contenido de magnesio.

Y en lo que respecta al contenido de potasio, se registraron diferencias significativas sólo para tratamientos ( $F_{4, 56}=4.68$ ,  $p=0.0025$ ). Todos los tratamientos tuvieron significativamente más contenido de potasio que el testigo, pero fueron estadísticamente iguales entre sí (Figura 1).



**Figura 1. Contenido de potasio para tratamientos. Letras comunes no son significativamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales sobre las barras indican error estándar.**

Es importante señalar que, aunque la mayoría de los resultados no mostraron diferencias significativas en la concentración de algunos minerales, en la cantidad de proteína y porcentaje de humedad, lo que si se notó es que al aplicar las diferentes dosis de vinaza no se provocan efectos negativos en el cultivo de maíz que pudieran indicar que sería contraproducente usar la vinaza como abono en este cultivo, sino que por el contrario se observa claramente plantas mejor hidratadas y con buen porcentaje de proteína, lo cual concuerda con otros autores quienes determinan que las plantas aprovechan correctamente los nutrientes que aporta la vinaza (Julca *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2008).

Este trabajo concuerda con Farreras y Párraga (2013) quienes demostraron que la aplicación de lodos de vinaza tiene efectos favorables en el maíz, sin embargo, los autores sugieren que se evalúen las aplicaciones de vinaza en distintas condiciones.

Con respecto a las concentraciones de minerales en las que no se presentan diferencias significativas, esto se debe a que el tiempo de evaluación permite concluir parcialmente, ya que estudios anteriores mencionan que la vinaza debido a su característica líquida promueve la lixiviación de K, Ca, Mg y S alcanzando profundidades de 0.7-3.5 m, sin embargo, esto se logra después de siete años. Esta lixiviación presenta ventajas, ya que mayor cantidad de K y lixivados a 10 cm y 23 cm de profundidad, favorecen el desarrollo profundo de las raíces del cultivo (Callejas *et al.*, 2014; Narváez *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2012).

Los resultados que no presentan diferencias significativas en la presencia de minerales en la planta, coinciden con los resultados en otros cultivos como caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y cebolla (*Allium cepa*) (Paula *et al.*, 1992; Paula *et al.*, 1999). Aunque otros autores De Resende *et al.* (2006) y Gallego – Blanco *et al.* (2012). Aunque sus resultados indican que se presentan efectos positivos de la vinaza sobre el crecimiento y la absorción de nutrientes, el mayor problema al que se enfrentan es el establecer dosis que maximicen la producción para evitar los excesos negativos para el cultivo y el ambiente. La dificultad para la recomendar de dosis de vinaza se complica cuando no se usa tradicionalmente (Del Pino *et al.*, 2017).

Por lo que es de gran importancia realizar estudios regionales y en el mayor número de cultivos posibles porque en México el empleo de la vinaza como abono orgánico permite tener una alternativa de bajo costo y facilidad de aplicación tanto para los productores como profesionales del sector, al permitir el desarrollo de las plantas, como el caso del maíz; lo cual, incide en una mayor producción de campo (Mejía, 2012).

## CONCLUSIONES

En este trabajo se observó un efecto notable en la disponibilidad de nutrientes del suelo al aplicar la vinaza, ya que el cultivo de maíz se comportó en algunos casos igual o mejor que el testigo al que se le aplicó fertilizante químico. El tratamiento en el que se aplicó la vinaza tal y como se obtiene de la alcoholera se comportó igual que el testigo al registrar el menor contenido de humedad en maíz. Los tratamientos que presentaron mayor contenido de proteína fueron en los que la vinaza se diluyó al 75 y 25%. El tratamiento con 100% de vinaza fue el que registró el maíz con mayor contenido de calcio y también fue superior en el contenido de magnesio con respecto al testigo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto “Evaluación del efecto de la vinaza en la absorción de Nutrientes en Plantas ¿Una alternativa en compostaje?” clave 5910.16–P.

## LITERATURA CITADA

- Barbazán, M., A. del Pino, C. Moltini, J. Hernández y J. Rodríguez. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 15(1): 82-92.
- Becerra, P. 2010. La industria del etanol en México. *Economía UNAM* 16(6): 82-98.

- Callejas, R., A. Silva, C. Peppi y O. Seguel. 2014. Factibilidad agronómica del uso de vinaza, subproducto de la fabricación del pisco, como biofertilizante en viñedos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8(2): 230-241.
- Christofolletti, C. A., J. P. Escher, J. E. Correia, J. F. U. Marinho and C. S. Fontanetti. 2013. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. *Waste Management* 33: 2752-2761.
- Cuellar, A. I., D. R. Villegas, O. M. León y I. H. Pérez. 2002. Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba. Publicinca. La Habana, Cuba. pp. 88-92.
- Da Gloria y J. Orlando. 1983. Aplicación de vinaza como fertilizante. *Boletín Técnico Planalsucar* 5: 5-38.
- Da Silva, A., J. Bono & F. Pereira. 2014. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. *Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental, Campina Grande* 18: 38-43.
- De Resende, A. S., R. P. Xavier, O. C. De Oliveira, S. Urquiaga, B. J. Alves and R. M. Boddey. 2006. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, NE Brazil. *Plant and Soil* 281:339-351.
- Del Pino, A., O. Casanova, M. Barbazán, V. Mancassola, J. Rodríguez, L. Arló, L. Borzazzoni y M. Passeggi. 2012. Caracterización y evaluación de biosólidos producidos por digestión anaerobia de residuos agroindustriales. *Ciencia del Suelo* 30: 129-136.
- Del Pino, A., O. Casanova, J. Hernández, V. Takata y G. Panissa. 2017. Efecto de la aplicación de vinaza en suelos bajo cultivo de caña de azúcar. *Ciencias Agronómicas* 30(17): 030-036.
- Farreras, J. y C. Párraga. 2013. Evaluación de lodos de vinaza como biofertilizante en dos tipos de suelo. *UNELLEZ de Ciencia y Tecnología* 31: 26-32.
- Ferreira, S. & O. Montenegro. 1987. Efeitos de aplicacao de la vinhnacas propiedades químicas, físicas e biológicas do solo. *Boletín Técnico Coopersucar Brasil* 36(1): 1-7.
- Gale, E. S., D. M. Sullivan, C.G. Cogger, A.I. Bary, D. D. Hemphill and E. A. 2006. Estimating plant available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *Journal of Environmental Quality* 35: 2321-2332.
- Gallego – Blanco, J., E. Muñoz, L. Hernández-Ríos. 2012. Effects of a vinasse-microorganism blend application on a Vertisol with sugarcane. *Agronomía Colombiana* 30:116-123.
- Gómez, J. and O. Rodríguez. 2000. Effects of vinasse on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ* 17: 318-326.
- González, T., S. Yagüe, M. Terrón, J. M. Carbajo, A. Arana, A. Téllez y A. E. González. 2006. Enzimas fúngicas: ¿una alternativa para la decoloración de los efluentes de destilería? *ICIDCA. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar* 40(1): 3-12.
- Hernández, M. G. I., G. S. Salgado, L. D. Palma, E. L. C. Lagunes, E. M. Castelán, E. M. y R. O. Ruíz. 2008. Vinaza y composta de chachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas México. *Interciencia* 33: 855-860.
- Julca, O. A., F. L. Meneses, S. R. Blas y A. S. Bello. 2006. La materia orgánica, usos y experiencias de su uso en la agricultura. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 24: 49-61.
- Madejón, E., R. López, M. Murillo, and F. Cabrera. 2011. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). *Agriculture Ecosystems and Environment* 84(1): 55-65.
- Mello, R., G. Caione and C. N. S. Campos. 2013. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. *Applied and Environmental Soil Science* 2013:1-8.

- Mejía S. E. 2012. Evaluación del Impacto Potencial de la Incorporación de Vinazas en el Agua de Riego utilizada por la Unidad de Riego Alfredo V. Bonfil, Veracruz
- Moore, A. D., A. K. Alva, H. P. Collins and R. A. Boydston. 2010. Mineralization of nitrogen from biofuel byproducts and animal manures amended to a sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 1315-1326.
- Narváez C. M., M. Sánchez y J. C. Menjívar F. 2010. Efecto de la aplicación de vinazas en las propiedades físicas y la actividad deshidrogenasa en suelos cultivados con maíz dulce (*Zea mays* L.). *Acta Agronomica* 59(2):211-217.
- Paula, M.B., F.S. Holanda, H.A. Mesquita & V.D. Carvalho. 1999. Uso da vinhaca no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de producao. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 1217-1222.
- Paula, M.B., V.D. Carvalho & F.D. Nogueira. 1992. Efeitos da vinhaca na producao e qualidade da cebola em solo de baixo potencial de produtividade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 27, 389-393.
- Pineda-Ruiz, E., Y. Chico-Lamas, M. L. Vidal-Díaz, E. Becerra de Armas, F. Acosta-Hernández, I. Fernández-Denis y I. Lugo-Ruiz. 2015. Uso alternativo de la vinaza en la fertilización de la caña de azúcar, efectos sobre el cultivo y el suelo. *Centro Agrícola* 42(1): 31-36
- Quintero, R. 2004. Perspectivas acerca del uso y manejo de vinazas aplicadas al suelo en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Palmira, Colombia, Corpoica. 233 p.
- Quiroz, I., A. Pérez, A., C. Landeros, V. Morales, R. Zetina. 2011. Percepción y actitud de productores cañeros sobre la composta de cachaza y vinaza. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(3): 847-856.
- Rodríguez, P. F., R. F. Gavi, B. E. Torres, y A. E. Hernández. 2012. Lixiviación de potasio y contenidos nutrimentales en suelo y alfalfa en respuesta a dosis de vinaza. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 833-846.
- Subirós, J. F. y E. Molina. 1992. Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un inceptisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 16: 55-60.
- Wadt, L. C. 2008. Cultivo de *Pleurotus* spp. em vinhaça visando à produção de biomassa e exopolissacarídeos. Dissertação Mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. 72 p.

## **RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD DE HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ CULTIVADOS EN EL CENTRO DE CHIAPAS, MÉXICO<sup>1</sup>**

### **[YIELD AND STABILITY OF EXPERIMENTAL MAIZE HYBRIDS CULTIVATED IN THE CENTER OF CHIAPAS, MEXICO]**

**Néstor Espinosa Paz<sup>1§</sup>, Jesús Martínez Sánchez<sup>1</sup>, Rafael Ariza Flores<sup>2</sup>, Pedro Cadena Iñiguez<sup>1</sup>, Ana Laura Ramírez Córdova<sup>1</sup>, Yuri Villegas Aparicio<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. km 3.0 Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, C.P.29140, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. <sup>2</sup>Campo Experimental Iguala-INIFAP. Carretera Iguala - Tuxpan Km. 2.5, Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México CP. 40000. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Ex Hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71233. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (espinosa.nestor@inifap.gob.mx).

#### **RESUMEN**

Chiapas, ocupa el primer lugar a nivel nacional en la su superficie sembrada de maíz. Anualmente en promedio se siembran 650 mil hectáreas con un rendimiento promedio de 2.0 t ha<sup>-1</sup> y una producción de 1 300 000 toneladas de grano. Son muchos los factores adversos que determinan la producción de maíz, debido a que el 95% se cultiva bajo condiciones de temporal. El objetivo de la presente investigación fue evaluar híbridos experimentales de maíz por su rendimiento y estabilidad en tres ambientes agroecológicos de la región Centro de Chiapas. En el ciclo agrícola P-V 2017, se evaluaron cinco híbridos experimentales más un testigo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los híbridos mostraron diferencias significativas (P<0.05) para el rendimiento de grano, altura de la planta y mazorca, días a floración y número de granos por hilera, mientras que no mostraron diferencias significativas para la interacción genotipo por ambiente. El genotipo de mayor rendimiento y estabilidad fue DK-390, que se usó como testigo y el ambiente con los rendimientos más altos fue la localidad de Francisco Villa, Villaflores, Chiapas.

**Palabras clave:** Híbridos de maíz, interacción genotipo×ambiente, rendimiento.

#### **ABSTRACT**

Chiapas ranks fourth nationally in the production of corn, due to its planted surface. On average, 650 thousand ha are planted with an average yield of 2.0 t ha<sup>-1</sup> and a production of 1 300 000 t of grain. Many adverse factors determine the production of corn, because 85% grown under rained conditions. The objective of this research was to evaluate experimental corn hybrids for their yield and stability in three agro-ecological environments of the Central Chiapas region. In the spring-summer 2017 agricultural cycle, evaluated six hybrids under a randomized complete block design with four replications. The hybrids showed significant differences (P <0.05) for grain yield. Height of the plant and ear, days to male and female flowering and number of grains per row in the ear, while they did not show significant difference for genotype interaction per environment. The genotype with the highest yield and stability was DK-390, which used as a control and the environment with the highest yields was the town of Francisco Villa, Villaflores, Chiapas.

---

<sup>1</sup> Recibido: 21 de noviembre de 2018  
Aceptado: 10 de diciembre de 2018

**Index words:** Corn hybrids, genotype×environment interaction, yield.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es uno de los granos más antiguos que se conocen, junto al arroz y al trigo constituye un alimento básico para la alimentación humana en partes de América Central, Sudamérica, África, Sudeste Asiático y China. Como grano forrajero está mundialmente difundido. Es un cultivo estratégico para el desarrollo de los países por su capacidad para generar empleo, inversiones, desarrollo regional y por las innumerables oportunidades de crecimiento y progreso que ofrece, tanto en los países que lo producen en gran cantidad, como en aquellos que deben importarlo para abastecer sus industrias (Montenegro, 2016).

En el estado de Chiapas, anualmente se producen en promedio 1 300 000 toneladas de grano en 650 mil hectáreas con un rendimiento de 2.0 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2017). Son muchos los factores adversos que determinan su producción, debido a que el 95 % se cultiva bajo condiciones de temporal (lluvias) (Martínez *et al.*, 2018).

En la región Centro de Chiapas, la altitud sobre el nivel de mar varía de 600 a 800 metros, con clima cálido subhúmedo y 1000 mm de precipitación media anual. Aproximadamente, el 80 % de los genotipos usados en la región son semillas genéticamente mejoradas (híbridos de diferente naturaleza) de diferentes empresas y en el resto de la superficie se siembra con variedades nativas, que han mantenido los productores por varias décadas (López *et al.*, 2008).

Los programas de mejoramiento genético de la diferentes empresas e instituciones nacionales cuentan con su germoplasma, por lo que generan genotipos con diferente estructura genética; dentro de éstos, forman variedades de polinización libre (VPL), variedades sintéticas (VS), híbridos de cruce simple (HCS), híbridos de cruce doble (HCD), híbridos trilineales (HTL) e híbridos intervarietales (HIV), para lograr una mayor adaptación a los diferentes ambientes agroecológicos (Ramírez *et al.*, 2015; González *et al.*, 2016). Por lo tanto, antes de recomendar a los productores un genotipo, se requiere evaluar su respuesta fenotípica en varios ambientes agroecológicos. Por tal motivo en este estudio, se evalúan las características fenotípicas más importantes, como son: altura de planta y mazorca, días a floración masculina y femenina, cobertura de las brácteas de la mazorca, rendimiento del grano y sus componentes morfológicos, entre otros (Márquez, 2009; Martínez *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2018).

El rendimiento de grano es una característica cuantitativa, que está determinada por muchos genes que interactúan con los factores bióticos y abióticos (Martínez *et al.*, 2016). La interacción genotipo-ambiente y la estabilidad del rendimiento merecen atención primordial, para la evaluación de los genotipos desarrollados en diferentes circunstancias de la producción, por lo que es necesario la integración de los conceptos de estabilidad para definir el comportamiento de cultivares evaluados a través de ambientes contrastantes (Córdova, 1991).

En este caso, es importante definir cuáles son los genotipos sobresalientes para rendimiento de grano, adaptación y estabilidad ambiental, por lo que se evalúan estas propiedades en multi-ambientes para recomendar su uso de manera comercial (Crossa *et al.*, 2006). La adaptación se refiere al mejor comportamiento relativo de un genotipo en la mayoría de los ambientes de prueba, mientras que la

estabilidad hace mención al comportamiento fenotípico de un genotipo en varios ambientes y con un buen rendimiento (Cooper, 1999; Fuentes y Quemé, 2005). Para lograr mayores avances en el mejoramiento genético de una especie, es necesario establecer correctamente las metodologías que se usan en la evaluación de la interacción genotipo x ambiente (GE), para estimar con precisión su respuesta diferencial (Canales *et al.*, 2016). Una de las metodologías para determinar la estabilidad del rendimiento es mediante la magnitud de la desviación a partir de la regresión lineal; es decir, por medio del cuadrado medio de la desviación de la regresión. En este modelo una variedad con media alta, coeficiente de regresión  $\beta_i=1$  y desviación no significativamente diferente de cero ( $\delta^2_{di}=0$ ) se considera como la variedad estable ideal (Canales *et al.*, 2016).

En el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), que consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y de componentes principales (ACP); el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, mientras que la interacción genotipo x ambiente (IGA) se trata de forma multivariada mediante el ACP, por lo tanto se realiza una nueva parametrización del modelo de regresión para mejorar la interpretación de la interacción (Zobel, 1988). Utilizando estas herramientas en la presente investigación se planteó el objetivo de evaluar híbridos experimentales de maíz por su rendimiento y estabilidad en tres ambientes agroecológicos de la región Centro de Chiapas, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización de los sitios experimentales

Los experimentos se establecieron durante el ciclo agrícola Primavera-Verano 2017 en las localidades de Francisco Villa, Villaflores (LN 16° 12' y LO 93° 20', altitud de 730 msnm); San Luis, Suchiapa (LN 16° 36' y LO 93° 03', altitud de 600 msnm) y en Ocozocoautla (LN 16° 46' y LO 93° 26', altitud de 800 msnm), ubicados en la región Centro del estado de Chiapas, México. En los tres sitios, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y presencia de sequía intraestival durante la segunda quincena de julio y primera de agosto, que contrastan por la intensidad de este fenómeno, la cual fue condición necesaria en la evaluación y selección de genotipos (Córdova, 1991). El suelo es de textura arcillosa, profundo, de mediana fertilidad, plano y sin pedregocidad.

### Material genético

Se utilizaron los híbridos experimentales: XT-3402, XT-7605, XT-7602, XT-7604, DK-390 y Pioneer P3966W. Estos dos últimos se usan en siembras comerciales en el Centro de Chiapas. Todos los genotipos mostraron más del 90 % de germinación.

### Diseño experimental

Los híbridos se distribuyeron en los tres sitios experimentales, que se establecieron para la siembra en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones (experimentos en serie). La unidad experimental consistió de cuatro surcos de cinco metros de longitud cada uno (16 m<sup>2</sup>) y 0.8 metros de separación, mientras que la parcela útil estuvo formada por los dos surcos centrales (8 m<sup>2</sup>).

## Manejo agronómico

La preparación del terreno en los tres sitios, consistió en un barbecho, rastra y el surcado. La siembra se realizó los días 27, 29 y 28 de junio en las localidades de San Luis, Francisco Villa y Ocozocoautla. En todos los sitios, en la siembra se aplicaron 80 kilogramos de nitrógeno (N), 100 de fósforo y 30 de potasio por hectárea, a los 45 días después de la siembra se aplicaron otros 80 kg de N. Para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* L.) y larvas en el suelo (*Diabrotica spp.*), se aplicó una dosis de 0.48 kg i.a. ha<sup>-1</sup> de clorpirifos. Para el control de maleza se aplicó atrazina a 0.5 kg i.a. ha<sup>-1</sup> y paraquat a de 0.5 kg i.a ha<sup>-1</sup> en preemergencia. Con una población de 62,500 plantas por hectárea. La cosecha se realizó a los 140 días después de la germinación. La precipitación acumulada durante el periodo de cultivo fue de 1 550, 1 250 y 950 mm en Francisco Villa, Ocozocoautla y San Luis, respectivamente, y la temperatura promedio mensual varió entre 21 y 23 °C.

## Variables evaluadas

Se registraron los días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de la planta (AP), de la mazorca se registraron altura (AM), longitud (LM), diámetro (DM), hileras de grano (HM), granos por hilera (GH) y rendimiento de grano (REND) al 14 % de humedad. Este último se obtuvo con la siguiente ecuación:

$REND (kg ha^{-1}) = PCaj \times \% \text{ de grano} \times \text{Factor de humedad del grano} \times \text{Factor de conversión a hectárea}$   
Donde:

$PCaj = \text{Peso de campo de mazorca por parcela ajustado con la fórmula de IOWA} (PCaj = PC (1 + ((fallas/No. de plantas reales) \times 0.33)))$ .

$\% \text{ de grano} = \text{Peso de grano de cinco mazorcas} / \text{peso de cinco mazorcas} \times 100$ .

$\text{Factor de humedad} = (100 - \text{humedad del grano en cosecha}) / 86$ .

$\text{Factor de conversión a hectárea} = 10\,000 \text{ m}^2 / \text{superficie de la parcela útil} (8 \text{ m}^2)$ .

## Análisis estadístico

Al inicio se realizó un análisis de la varianza combinado (ANOVA) para cada una de las variables. Posteriormente, para la evaluación de la interacción genotipo x ambiente (GA) y la estabilidad del rendimiento se aplicó el modelo de efectos aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), que consiste en combinar las técnicas del ANOVA y el análisis de componentes principales (ACP) en un solo modelo. Por lo tanto, el ANOVA permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, mientras que la interacción genotipo x ambiente (IGA) se trata de forma multivariada en el ACP, donde se realiza una nueva parametrización del modelo de regresión para mejorar la interpretación de la interacción (Zobel, 1988). La representación gráfica de AMMI se obtuvo por un biplot, el cual mostró el patrón de la interacción. El análisis de varianza se resolvió con el sistema SAS (SAS, 2000), mientras que para el modelo AMMI se utilizó el programa GEA-R (Pacheco *et al.*, 2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado (Cuadro 1) mostró diferencias estadísticas entre genotipos (G), para las siguientes características: rendimiento de grano, altura de planta, altura de la mazorca, días

a floración masculina, días a floración femenina y número de granos por hilera. Entre ambientes (A) hubo diferencias significativas para las variables antes mencionadas, con excepción del rendimiento de grano, número de hileras y número de granos por hilera. En la interacción genotipo x ambiente (IGA) únicamente hubo diferencias significativas para los días a floración masculina y femenina.

Los valores del coeficiente de variación (CV) fueron de 1.7 (DFF) a 24 % (REND), lo que indica un control aceptable (<25%) de la variabilidad experimental (López *et al.*, 2017). Los resultados de este estudio mostraron una variación fenotípica entre los híbridos evaluados, lo cual permite seleccionar a los más sobresalientes. Resultados similares fueron reportados por Canales *et al.* (2016), al evaluar híbridos trilineales androestériles de maíz en varios ambientes del Valle de Toluca, México. Los ambientes de evaluación representan las condiciones agroecológicas, donde se cultiva el maíz en la región Centro de Chiapas y por ser contrastantes, ya que mostraron efectos diferentes y esta condición es necesaria en la evaluación de germoplasma en proceso de mejoramiento genético (Córdova, 1991). La posible explicación a la no significancia estadística de la IGA es que los genotipos experimentales evaluados, se hayan formado genéticamente con material de origen similar.

**Cuadro 1. Significancia estadística del análisis combinado para las diversas características fenotípicas de genotipos de maíz en tres ambientes. Ciclo Primavera – Verano 2017.**

Fuente de variación	REND	AP	AM	DFM	DFF	LM	DM	NH	GH
Genotipo (G)	*	**	**	**	**	n.s.	n.s.	**	n.s.
Ambiente (A)	n.s.	**	**	**	**	**	**	n.s.	n.s.
G x A	n.s.	n.s.	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C.V. (%)	24	6.9	6.9	2.6	1.7	7.3	11.5	5.1	8.6

\*y\*\* indican nivel de significancia a  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$ , respectivamente; N.S = No significativo; C.V.= Coeficiente de Variación. Las variables REND = Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); AP = altura de planta (m); AM = altura a mazorca (m); DFM = días a floración masculina (DDS); DFF = días a floración femenina (DDS); LM = Longitud de mazorca (cm); DM = diámetro de mazorca (cm); NH = número de hileras; GH = granos por hilera.

En el Cuadro 2, se presenta el análisis de Gollob, el cual permite conocer la significancia estadística de los componentes del modelo AMMI; el primer componente (CP1) explicó el 70.81% de la IGA, mientras que el CP2 explicó el 29.17%, ambos no fueron significativos estadísticamente. De manera similar, Canales *et al.* (2016), no encontraron diferencias significativas para los componentes CP1 y CP2 al evaluar ocho genotipos en ocho ambientes de evaluación.

**Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de la prueba Gollob, para los componentes del modelo multiplicativo AMMI para los seis genotipos evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera – Verano 2017.**

Fuente de variación	SS	% explicado	% acumulado	GL	CM
ENV	9.33	13.57	13.57	2	4.67n.s
GEN	40.72	59.22	72.79	5	8.14*
ENV*GEN	18.71	27.21	100.00	10	1.87n.s
PC1	13.25	70.81	70.81	6	2.21n.s
PC2	5.46	29.19	100.00	4	1.37n.s
Residuales	104.5625	0	0	54	1.93634

SS = suma de cuadrados; GL = Grados de libertad; CM = Cuadrados medios.

El rendimiento de grano es la característica de mayor interés en los ensayos de evaluación de genotipos de maíz, que está determinado por muchos genes e interactúan fuertemente con las condiciones ambientales (Márquez, 2009; Martínez *et al.*, 2016). En el Cuadro 3, se presentan los rendimientos obtenidos en cada ambiente, por lo que se obtuvieron 6.29 t ha<sup>-1</sup> en promedio en el sitio de Francisco Villa, Villaflores, Chiapas, mismo que superó en un 36 % a los registrados para los sitios experimentales de Ocozocoautla y San Luis, Suchiapa. Estos resultados se deben a que, en Francisco Villa, la precipitación fue mayor y sin presencia de sequía intraestival; sin embargo, en San Luis y Ocozocoautla se presentó un periodo de sequía intraestival (sin lluvia) de 15 y 10 días, respectivamente; esta sequía ocurrió durante el periodo de floración, en esta etapa la planta de maíz es altamente susceptible al déficit hídrico y su demanda es alta (Espinosa-Paz, 1995; Márquez, 2009). En Francisco Villa, Villaflores, el suelo es ácido y se ha manejado bajo labranza cero desde 2013 y en 2015 se realizó la aplicación de cal agrícola de 1 t ha<sup>-1</sup>, para incrementar el pH del suelo y disminuir a menos de 8 % la saturación de aluminio.

Los genotipos XT 3402, XT 7605 y DK.390 destacaron del resto, con rendimientos de 5.98, 6.08 y 7.21 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3), respectivamente, los cuales resultaron similares al testigo. Para la longitud de la mazorca no hubo diferencias significativas entre los genotipos, mientras que por el número de hileras destacó el genotipo DK-390. Estos rendimientos superan al rendimiento promedio regional de 3200 kg ha<sup>-1</sup>, obtenidos por los productores; por lo tanto, el uso de cualquiera de estos genotipos será económicamente rentable.

**Cuadro 3. Prueba de medias de efectos principales para el rendimiento de grano y componentes del rendimiento de seis genotipos de maíz evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera - Verano 2017.**

Factor	REND	LM	DM	NH	GH
<b>Genotipo</b>					
XT 3402	5.98 ab	16.4 a	4.6 a	15.6 c	35.6 ab
XT 7605	6.08 ab	17.1 a	4.7 a	17.3 b	35.2 ab
XT 7602	5.10 b	16.3 a	4.3 a	13.6 d	35.3 ab
XT 7604	5.36 b	16.7 a	4.7 a	13.9 d	36.1 ab
DK 390	7.21 a	16.3 a	4.6 a	18.4 a	36.9 a
PIONEER 3966W	5.93 b	16.8 a	4.4 a	16.8 b	33.0 b
DSH	1.7	1.5	0.6	0.9	3.6
<b>Ambiente</b>					
Ocozocoautla	5.63 a	17.1 a	4.7 a	16.1 a	35.9 a
Francisco Villa, Villaflores	6.29 a	16.8 ab	4.8 a	16.0 a	34.7 a
San Luis, Suchiapa	5.46 a	16.1 b	4.3 b	15.8 a	35.4 a
DSH	0.96	0.8	0.36	0.56	2.1

REND = Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>); LMA = Longitud de mazorca (cm); DMA = Diámetro de mazorca (cm); NH = Número de hileras; GH = Granos por hilera. †Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales

En el Cuadro 4, se presentan la altura de la planta, altura de la mazorca, días a floración masculina y días a floración femenina. Los genotipos presentaron una altura de planta promedio de 2.48 a 2.8 m, misma que no fue problema, ya que los genotipos no presentaron acame; además, estos valores son favorables para la producción de forraje como un valor agregado del rendimiento de grano. Con respecto a la altura de la mazorca, los valores son aceptables ya que alturas bajas favorecen la pudrición de la mazorca en climas cálidos, cuando existe un exceso de maleza antes

de la cosecha. La floración de los genotipos se considera aceptable y fueron ligeramente más precoces (55 días) en el sitio de Suchiapa, probablemente se debe a las altas temperaturas de esta localidad y, además, hubo presencia de sequía intraestival, en comparación con los otros dos sitios experimentales. La asincronía entre la floración masculina y femenina en todos los genotipos no es significativa.

**Cuadro 4. Prueba de medias de efectos principales para altura de planta, de mazorca y fenología de seis genotipos de maíz evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera - Verano 2016.**

Factor	AP (m)	AM (m)	DFM (dds)	DFF (dds)
<b>Genotipo</b>				
XT 3402	2.61 abc	1.13 abc	58.7 ab	57.6 a
XT 7605	2.57 bc	1.07 c	59.3 a	58.9 a
XT 7602	2.41 c	1.11 bc	57.9 b	56.3 b
XT 7604	2.72 ab	1.19 ab	59.4 a	58.8 a
DK 390	2.80 a	1.22 a	57.9 b	57.1 ab
PIONEER 3966W	2.48 c	1.10 c	56.4 b	56.5 b
DSH	0.2	0.09	1.2	1.8
<b>Ambiente</b>				
Ocozocoautla	2.86 a	1.23 a	57.9 a	58 b
Francisco Villa, Villaflores	2.27 c	0.94 b	59.7 b	59.7 a
San Luis, Suchiapa	2.67 b	1.23 a	55 c	56.9 c
DSH	0,1	0.05	1.0	0.7

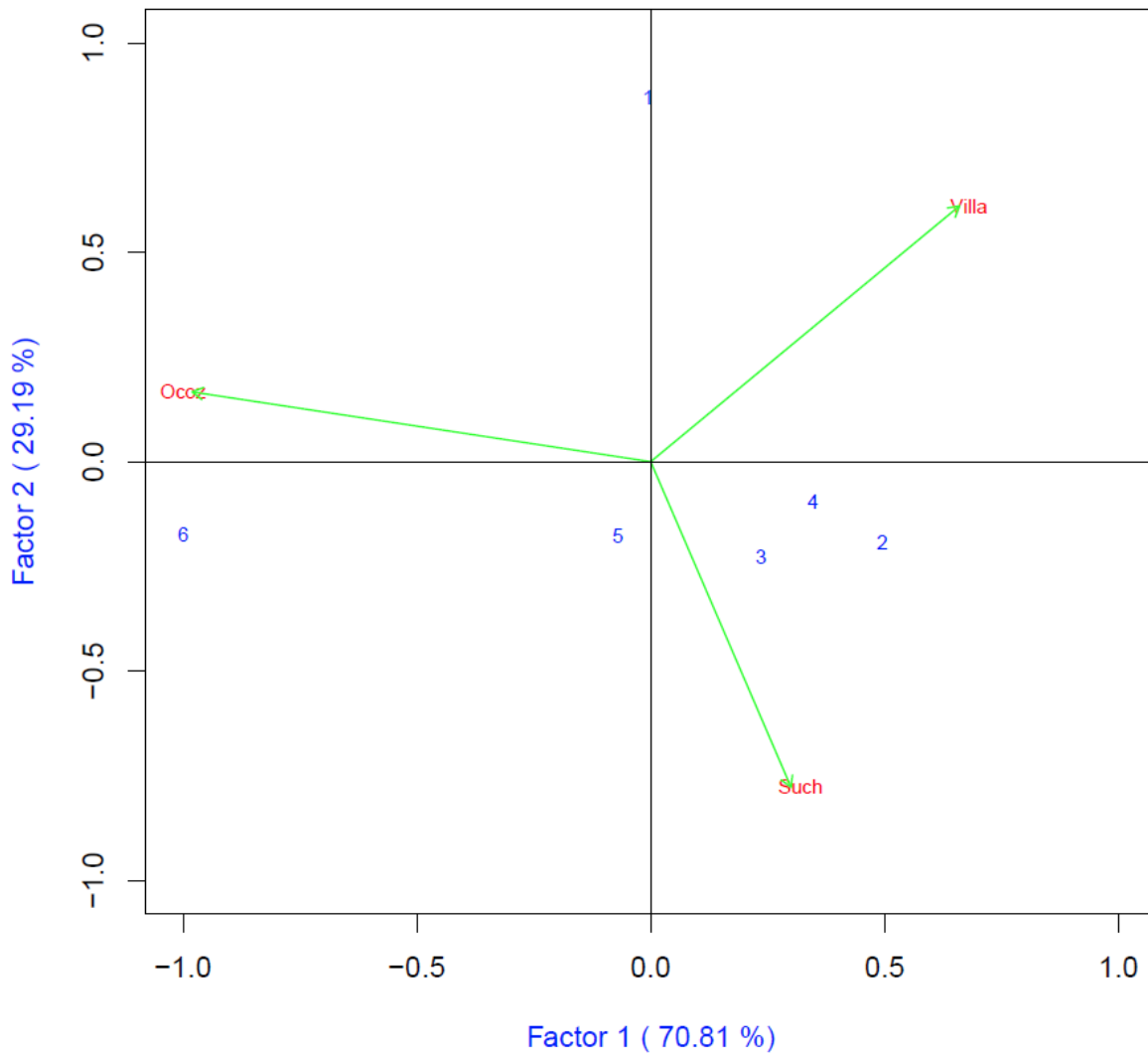
AP = Altura de planta (m); AM = Altura de mazorca (m); DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina. dds= Días después de la siembra. \*Medias con la misma letra en la columna no son estadísticamente diferentes.

En el Cuadro 5, se presentan los rendimientos para conocer mejor el comportamiento de cada genotipo en los ambientes de evaluación, destacando en rendimiento promedio los genotipos XT-3402, XT-7605 y DK-390 este último obtuvo el mayor rendimiento en todas las localidades. Sin embargo, en Ocozocoautla los híbridos XT-3402 y P-3966W tuvieron un comportamiento aceptable, XT-7605 lo tuvo en San Luis, Suchiapa y XT-3402 en Francisco Villa, Villaflores con rendimientos superiores a las seis toneladas por hectárea. Estos híbridos son opciones factibles para las regiones maiceras del Centro de Chiapas con características similares a los ambientes de evaluación.

La Figura 1, presenta la gráfica biplot, la cual sirve para conocer mejor la estabilidad de los genotipos a través de los ambientes. Los segmentos representan a los ambientes y los números a los genotipos. De acuerdo con el modelo AMMI, los genotipos ubicados más cerca del origen (eje de coordenadas) presentan mayor estabilidad, que aquellos ubicados más lejos. Por lo tanto, se aprecia que el genotipo DK-390 (5), manifestó mejor estabilidad y mayor rendimiento que los híbridos experimentales.

**Cuadro 5. Promedio de rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>) de seis genotipos de maíz evaluados en tres ambientes del centro de Chiapas y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales. Ciclo Agrícola Primavera - Verano 2017.**

No.	Genotipo	Localidades			Promedio	CP1	CP2
		Ocozocoautla	Suchiapa	Villaflores			
1	XT-3402	6.0	4.8	7.1	6.0 AB	-0.01	0.87
2	XT-7605	5.3	6.1	6.9	6.1 AB	0.49	-0.19
3	XT-7602	4.6	5.1	5.6	5.1 B	0.24	-0.23
4	XT-7604	4.8	5.3	6.1	5.4 B	0.35	-0.09
5	DK-390	7.1	7.0	7.5	7.2 A	-0.07	-0.18
6	P-3966W	6.1	4.5	4.6	5.0 B	-1.00	-0.17
	Promedio	5.6 A	5.5 A	6.3 a	5.8		



**Figura 1. Biplot que muestra el patrón de la IGA en función del rendimiento promedio de seis híbridos de maíz evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera – Verano 2017.**

## CONCLUSIONES

Los híbridos de mayor rendimiento de grano fueron XT-3402, XT-7605 y DK-390. El híbrido de mayor estabilidad a través de localidades fue DK-390, usado como testigo. El ambiente con los rendimientos más altos fue la localidad de Francisco Villa, Villaflores, Chiapas, ubicado en la región Frailesca y mayor productora de maíz. Le siguieron los sitios de Ocozocoautla y San Luis, Suchiapa. La altura de la planta, altura de la mazorca y días a floración masculina y femenina se consideran aceptables para la región Centro de Chiapas.

## LITERATURA CITADA

- Canales, I.E.I., M. Tadeo R., J.A. Mejía C., J.J. García Z., A. Espinosa C., F. Castillo G., M. Sierra M. y M. Gómez N. 2016. Estabilidad del rendimiento de grano en híbridos trilineales androesteriles de maíz para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(8): 1815-1827.
- Córdova, O.H.S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para estimar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centroamérica, Panamá y México. *Agronomía Mesoamericana* 2: 1-10.
- Crossa, J.; J. Burgueño, L. Cornelius P., G. McLaren, R. Trethowan and A. Krishnamachari 2006. Modeling genotype x environment interaction using additive genetic covariances of relatives for predicting breeding values of wheat genotypes. *Crop Sciences* 46: 1722- 1733.
- Crossa J. y J. Vargas H. 2000. El análisis AMMI y la gráfica de biplot en SAS. Unidad de biometría. CIMMYT, El Batán, México.
- Cooper, M. P. 1999. Genotype x environment interactions, selection response and heterosis. In: Coors, J. G. y Pandey, S. (Eds.). *The genetics and exploitation of heterosis* In: *Crops*. Crop science society of America. CIMMYT. Madison, Wisconsin, USA. 81-92 pp.
- Espinosa-Paz, N. 1995. Comportamiento morfológico, anatómico y fisiológico de variedades de maíz cultivadas en tres agrosistemas bajo deficiencia hídrica en la Mixteca Alta de Oaxaca. Tesis de D.C. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 230 p.
- Fuentes, L. M. y R. Quemé W. 2005. Evaluación de híbridos de maíz de grano amarillo y blanco en diferentes ambientes de México y Centro América. Informe del PCCMA Guatemala. Abril 2005.
- González, M.J., J. A. López S., B. Estrada D., R. Delgado M., J. A. Pecina M., E. S. Varela F., E. Osorio H. y M. Rocandio R. 2016. Parámetros genéticos y heterosis en líneas derivadas de poblaciones nativas de maíz tropical de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(2): 387-399.
- López, B. W., A. López L., B. Coutiño E., R. Camas G., B. Villar S., J. López M., V. Serrano A., P. Cadena I., A. Zamarripa M. y C. Sandoval M. 2008. Zonas potenciales y recomendaciones técnicas para la producción sustentable de maíz en Chiapas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. Libro técnico Num 1. 228p.
- López L.C., M. Tadeo-Roblero, A. Espinosa-Calderón, J.J. García Z., I. Benitez R., Ma. G. Vázquez-Carrillo y J.A. Carrillo-Salazar. 2017. Productividad de cruza simple con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(3): 559-370.
- Márquez, S. F. 2009. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II. La hibridación. *Agric. Soc. Des.* 6(2): 161- 176.

- Martínez, S.J., N. Espinosa P. y Y. Villegas A. 2016. Interacción genotipo-ambiente en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 3(1): 38-48.
- Martínez, S.J., N. Espinosa P., A.L. Ramírez, C., R. Camas G. y Y. Villegas A. 2018. Expresión fenotípica y estabilidad en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 5(1):1-12.
- Montenegro, M.A. 2016. Caracterización de la estabilidad del rendimiento de cuatro híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a través de rasgos ecofisiológicos asociados a la determinación del número de granos. Tesis profesional. Universidad de Argentina. Argentina. 95 p.
- Pacheco, A., M. Vargas, G. Alvarado, F. Rodriguez, J. Crossa and J. Burgueño. 2015. “GEA-R (Genotype x Environment Analysis with R for Windows) Versión 2.0”, <http://hdl.handle.net/11529/10203> International Maize and Wheat Improvement Center.
- Ramírez-Díaz, J. L., A. Ledesma-Miramontes, V.A. Vidal-Martínez, N. O. Gómez-Montiel, J. A. Ruiz-Corral, G. A. Vázquez-Cardelas, J. Ron-Parra, Y. Salinas-Moreno y L. A. Nájera-Calvo. 2015. Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(2): 119-131.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System User’s Guide. SAS Institute. Cary. USA. 956 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Secretaría de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Cierre de producción por estado. Producción nacional de maíz grano. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Zobel, R.W., M.J. Wright and H.G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80: 388-393.

## **ORGANOGENESIS *in vitro* EN TEJIDOS DE TALLO DE *Agave marmorata* Y *Agave angustifolia*<sup>1</sup>**

**[*In vitro* ORGANOGENESIS ON STEM TISSUES OF *Agave marmorata* AND *Agave angustifolia*]**

**Lizbeth López Acevedo<sup>1</sup>, Yaneth Elisea Merino Pérez<sup>1</sup>, José Raymundo Enríquez del Valle<sup>1§</sup>, Gerardo Rodríguez-Ortiz<sup>1</sup>, Zoila Carmen Lagunas Sánchez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (jenriquezdelvalle@yahoo.com).

### **RESUMEN**

El aprovechamiento sin planes de manejo de especies silvestres, como el *Agave marmorata* se ha intensificado, por lo que sus poblaciones están disminuyendo, y los campesinos están interesados en implementar su propagación y cultivo. De la especie cultivada *A. angustifolia*, interesa incrementar el área de plantaciones, por lo que se requiere aumentar la producción de plantas de calidad. Se propuso realizar la micropropagación de las especies de agaves citadas, en complemento a los métodos de propagación convencionales. Por lo que el presente trabajo tuvo el objetivo de establecer cultivos asépticos e inducir la organogénesis en tejidos de tallo. Plantas de *A. marmorata* y *A. angustifolia* de 1 a 2 años de edad se colectaron en campo y se les estableció durante tres meses en vivero para someterlas a tratamientos con fungicidas, antibióticos y fertilización, para mejorar su condición sanitaria y vigor. A partir de 20 plantas de *A. angustifolia* se obtuvieron 586 explantes de tejido de tallo que se establecieron *in vitro*, en un medio de cultivo para inducir la organogénesis. Transcurridos tres meses 202 explantes (34.47%) resultaron asépticos, viables, con inicios de respuesta de organogénesis. De los cuales, en sólo cuatro explantes ocurrió la formación de brotes adventicios. A partir de 15 plantas de *A. marmorata*, se obtuvieron 228 explantes de tejidos de tallo que se establecieron *in vitro*. Transcurridos tres meses 68 explantes (29.82%) resultaron asépticos, viables, con inicios de respuesta de organogénesis, ocho de éstos presentaron formación de brotes adventicios.

**Palabras clave:** Cultivo de células vegetales, micropropagación, propagación asexual.

### **ABSTRACT**

The use of wild species without management plans, such as the *Agave marmorata* has intensified and so their populations are decreasing, and peasants are interested in implement the propagation and cultivation of this agave, while they are interested for increase the cultivation area of *A. angustifolia*, then it is necessary to increase the production of quality plants. It was proposed to micropropagate the agave species mentioned, in addition to conventional propagation methods. Therefore, the objective of this work was to establish aseptic cultures of stem tissues and induce organogenesis in this tissue. Plants of *A. marmorata* and *A. angustifolia* from 1 to 2 years old were collected in the field and established for three months in nursery to submit them to treatments with fungicides, antibiotics and fertilization, to improve their sanitary condition and vigor. From 20 plants of *A. angustifolia*, and 15 plants of *A. marmorata* a 586 and 228 stem tissue explants were

---

<sup>1</sup> Recibido: 12 de noviembre de 2018.  
Aceptado: 10 de diciembre de 2018.

obtained respectively, that were established *in vitro* in a culture medium to induce organogenesis. After three months 202 explants (34.47%) and 68 explants (29.82%) were aseptic, viable with early organogenesis response. In which, only eight explants, had adventitious shoots, respectively.

**Index words:** Plant cell culture, micropropagation, asexual propagation.

## INTRODUCCIÓN

En México se tiene un total de 150 especies de Agave, de las cuales en el estado de Oaxaca se encuentran 120 especies y subespecies derivadas, y varias de éstas se usan para la producción de mezcal, producto que cuenta con denominación de origen y de importancia económica en la referida “región del mezcal” que abarca los distritos de Yautepec, Ejutla, Miahuatlán, Ocotlán, Sola de Vega, Zimatlán y Tlacolula, aunque también hay producción en la región Mixteca. En la denominación de origen también se incluyen los estados de Guerrero, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato y Michoacán (Martínez *et al.*, 2013). En Oaxaca, durante el año 2007 se contabilizaron casi 14 mil productores de maguey y mezcal, y para el año 2015 se tenían 18 mil ha cultivadas de maguey con aproximadamente 28 millones de plantas. En cuanto a la cantidad de producto para venta internacional, Oaxaca ocupa el primer lugar del total de mezcal exportado, 90.2% (Palma *et al.*, 2016).

Las especies de agave cultivadas en mayor extensión, *A. tequilana*, *A. fourcroydes*, *A. salmiana* y *A. angustifolia*, se propagan asexualmente. En las especies citadas, la reproducción sexual se ha aplicado de manera limitada y también son escasos los antecedentes de mejoramiento de las especies cultivadas. Una alternativa prometedora para superar las limitaciones de producir grandes cantidades de plantas de calidad en estas especies, es aplicar las técnicas de cultivo de tejidos vegetales, para la micro propagación o *in vitro* (Domínguez-Rosales, 2008).

Enríquez-del Valle (2008) describe que la propagación clonal de plantas mediante la técnica de cultivo de células, tejidos u órganos, se basa en el principio de que toda célula vegetal tiene la información genética para regenerar un organismo completo, lo que se conoce como totipotencia, y para que la célula pueda expresar este potencial es necesario que se le proporcionen las condiciones ambientales adecuadas, usando principalmente medios nutritivos de composición definida, en recipientes de material transparente, generalmente vidrio, pero también plástico. También se requieren condiciones asépticas en todas las etapas de propagación. Los factores que influyen en la respuesta de los cultivos *in vitro* han sido incluidos en dos grupos 1) composición química del medio de cultivo en la que se incluyen el agua, las sales inorgánicas tanto macronutrientes como micronutrientes, los compuestos orgánicos como carbohidratos, vitaminas, aminoácidos, reguladores de crecimiento, complejos orgánicos y sustancias de soporte físico; 2) Las condiciones físicas de incubación: la temperatura, la iluminación, humedad relativa y gases atmosféricos.

El maguey tepextate (*A. marmorata*) es una especie silvestre que crece en lomeríos y vegetación de selva baja caducifolia, en el estado de Puebla y en los Valles Centrales y Sierra Sur del estado de Oaxaca, México. Se le usa como materia prima para la elaboración de la bebida destilada denominada mezcal, pero debido a que su colecta se realiza sin planes de manejo, sus poblaciones están disminuyendo (Jiménez-Valdés *et al.*, 2010). En el caso del maguey espadín (*A. angustifolia*), es la especie cultivada que ocupa el 70% del área total de área de plantaciones de agaves mezcaleros

en Oaxaca. Según Ríos-Ramírez *et al.* (2018), anualmente se requiere producir 2.6 millones de plantas para establecer nuevas plantaciones que repongan la cantidad de plantas que se cosechan anualmente y para aumentar el inventario de cultivos, por lo que existe una demanda alta de plantas. Las plantaciones de maguey espadín se establecen con plantas obtenidas asexualmente, principalmente mediante vástagos de rizoma y bulbilos de inflorescencia, pero desde 1987 se tiene la experiencia de que una cantidad menor de 0.5% han sido plantas obtenidas mediante cultivo de tejidos vegetales (Enríquez -del Valle, 2008). Por lo que, la propagación de agaves mediante cultivos de tejidos se ha propuesto como una alternativa complementaria a los métodos de propagación convencional.

El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales es un conjunto de técnicas para la regeneración y propagación asexual de especies vegetales que requiere ambientes asépticos y condiciones controladas de medios de cultivo e incubación. Las técnicas de propagación vegetal mediante cultivos *in vitro* iniciaron su aplicación comercial desde la década de 1970; principalmente en especies ornamentales de valor económico alto, de manera gradual su aplicación se extendió a especies frutales como el plátano (Uma *et al.*, 2010), y forestales como *Eucalyptus globulus* (Rodrigues- Borges *et al.*, 2012). Sin embargo, en algunas regiones del mundo y en diversos sistemas productivos, estas técnicas se podrían considerar como innovación tecnológica. Tal es el caso de especies de agave cultivadas y silvestres cuya conservación no es posible en las condiciones en que se les aprovecha actualmente (Domínguez *et al.*, 2008).

Se tienen antecedentes de propagación *in vitro* de diversas especies de agave, entre las que se encuentran *A. fourcroydes* (Robert *et al.*, 1987), *A. tequilana* (Valenzuela-Sánchez *et al.*, 2006; Portillo *et al.*, 2007), *A. sisalana* (Das, 1992; Nikam, 1997; Hazra *et al.*, 2002; Nikam *et al.*, 2003) y *A. angustifolia* (Enríquez-del Valle *et al.*, 2005; Enríquez-del Valle, 2008), en las que se han determinado condiciones de medios de cultivo y ambiente de incubación para diversas etapas del procedimiento de propagación: establecimiento de cultivos asépticos, multiplicación de propágulos, enraizado de brotes en preparación para trasplante a suelo, transferencia de las plantas a macetas con sustrato para aclimatización en invernadero, entre otras.

No se tienen referencias de la propagación *in vitro* de la especie silvestre *A. marmorata*, sin embargo, se tomó como base el procedimiento para establecimiento de cultivos asépticos *in vitro* e inducción de morfogénesis en tejidos de tallo de *A. angustifolia*, descrito por Ríos-Ramírez *et al.* (2018), por lo que en el presente trabajo se estableció el objetivo de establecer cultivos asépticos e inducir la respuesta morfogénica en tejidos de tallo de *A. marmorata* y *A. angustifolia*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el invernadero y el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, ubicado en la Ex –Hacienda de Nazareno, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Las plantas de agaves se colectaron en el mes de agosto de 2017 en terrenos de la localidad de Santiago Matatlán, Tlacolula, Oaxaca. Se seleccionaron plantas con hojas de 47 a 58 cm de largo, se podaron sus raíces hasta 10 a 15 cm de longitud y se establecieron en macetas de polietileno negro de 25 cm de diámetro, 25 cm de altura, con 12 dm<sup>3</sup> de suelo de textura franco arcillosa. Las plantas en macetas se establecieron en un vivero tipo casa sombra de 7.5 m de ancho, 12.5 m de longitud, 3.5 m de altura, de estructura metálica y cubierta de polietileno traslúcido, las camas de 1.3 m de ancho de longitud, delimitadas en toda su periferia

por un muro de concreto de 10 cm de altura, los pasillos de 40 cm de ancho con piso de concreto. En estas condiciones las plantas se sometieron durante 90 días a un régimen de aplicación dos veces a la semana 0.5 g L<sup>-1</sup> de fungicida sistémico de nombre comercial Captan (Ingrediente activo N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1-2-dicarboximida 50.00%); 0.5 g L<sup>-1</sup> de terramicina agrícola (clorhidrato de oxitetraclina) una vez a la semana y fertirriego, una vez a la semana, con solución nutritiva de la formulación universal de Steiner (1984). Cuando transcurrió el periodo indicado, se cosecharon plantas de *A. angustifolia* en siete fechas y plantas de *A. marmorata* en cinco fechas. El medio de cultivo que se usó para establecer los cultivos asépticos e inducir la morfogénesis en tejidos somáticos de agave, contenía: sales inorgánicas MS (Murashige y Skoog, 1962), 1 mg L<sup>-1</sup> de tiamina-HCl, 100 mg L<sup>-1</sup> de myo-inositol, 30 g L<sup>-1</sup> de sacarosa, 1 mg L<sup>-1</sup> de N6-Bencilaminopurina, 0.3 mg L<sup>-1</sup> de ácido indolacético. El pH se ajustó a 5.8 antes de agregar 5.7 g L<sup>-1</sup> de agar. El agar se disolvió con calor y agitación y se distribuyeron 20 ml a cada frasco de cultivo de 145 cm<sup>3</sup>, y entonces el frasco se cerró con una tapa de polipropileno. Los frascos con medio de cultivo se esterilizaron durante 17 min en autoclave a 120 °C y 1.2 kg cm<sup>-2</sup> de presión. A las plantas se les eliminó la raíz, las hojas se cortaron hasta su base. Los tallos se sometieron a un proceso de desinfección superficial en una secuencia de las sustancias siguientes 1) lavado con una solución 0.2% detergente; 2) inmersión durante 20 minutos en una solución 0.6% de hipoclorito de sodio; 3) tres enjuagues con agua esterilizada. A partir del paso 2, el manejo del material vegetal se realizó en condiciones asépticas proporcionadas por una cámara de aire filtrado de flujo laminar horizontal; se usaron pinzas y bisturí esterilizados.

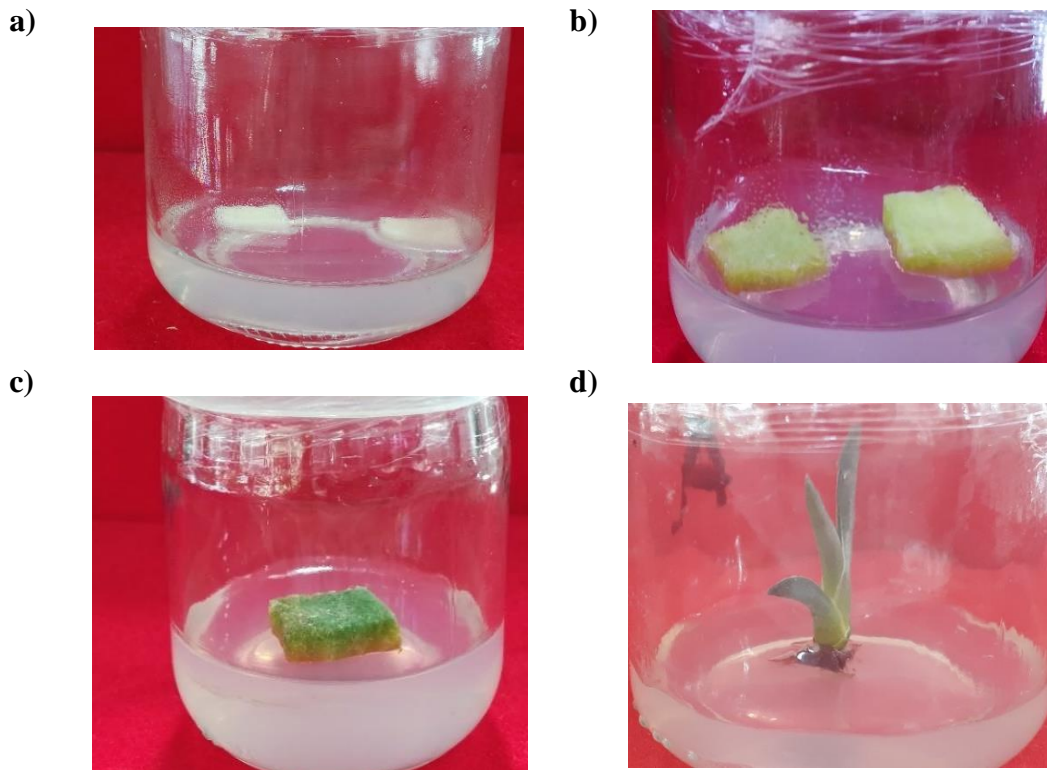
Para obtener los explantes cada tallo se colocó en una caja Petri de vidrio de 10 x 100 mm, esterilizada. Con las herramientas de disección esterilizadas mediante flama, se cortaron segmentos de tejido de tallo de 1.5 x 1.5 x 0.3 cm, para colocar dos segmentos en cada frasco de cultivo de 145 cm<sup>3</sup> que contenía 20 ml de medio de cultivo esterilizado y consistencia de gel. Se colocó nuevamente la tapa al frasco y se selló con polietileno adherente, entonces los cultivos se establecieron durante 70 días en un área de incubación, expuestos a iluminación proporcionada por lámparas LED 35 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, en fotoperiodos de 16 h y 8 h de oscuridad; temperatura en el rango de 15 a 29 °C.

En el transcurso de los 70 días se evaluó la cantidad de fragmentos de tejidos de tallo que se obtuvieron de cada planta, el porcentaje de estos segmentos que se contaminaron, los que se conservaron asépticos-viables, y los que mostraban indicios de formación de brotes adventicios. Se describió la apariencia inicial y los cambios graduales que se observaron macroscópicamente en los fragmentos de tejido en que ocurrió la formación de brotes adventicios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fue posible inducir en tejidos de tallo de *A. marmorata* y *A. angustifolia* la organogénesis mediante la formación de brotes adventicios, similar a la descripción de la propagación de *A. fourcroydes* (Madrigal *et al.*, 1990) y *A. angustifolia* (Ríos-Ramírez *et al.*, 2018). A partir del establecimiento del cultivo aséptico, cada día durante el periodo de incubación se contabilizaron los explantes en que se observaron cambios de apariencia hasta llegar a una posible respuesta de organogénesis (Cuadro 1). En la Figura 1 se muestran los cambios que se observaron durante cultivo el *in vitro*. Al inicio del cultivo, los explantos de *Agave angustifolia* (Figura 1) y de *Agave marmorata* (Figura 2) tenían superficie lisa y coloración amarillo clara. A partir del tercer día de incubación se observó un ligero aumento de tamaño de los explantos y su superficie adquirió apariencia rugosa debido a

que estaban ocurriendo divisiones celulares. Transcurrida una semana los explantos adquirieron coloración verde y en el día 70 se observaron brotes. Lo sucedido es similar a lo observado por Ríos-Ramírez *et al.* (2018), quienes cultivaron *in vitro* tejidos de tallo de *Agave angustifolia* en los que se obtuvo la formación de brotes adventicios. Villalobos *et al.* (1985) y Thompson y Thorpe (1997) describieron que en los explantos de tejidos somáticos de *Pinus radiata* que se establecieron *in vitro* para promover la formación de brotes adventicios, el proceso de organogénesis se inició en células de tipo parénquima, algunas de éstas fueron inducidas a asumir divisiones celulares que dieron origen a grupos de células desdiferenciadas, que son pequeñas, con núcleos prominentes, paredes celulares delgadas y espacios intercelulares pequeños. En algunos de estos grupos de células continuaron las divisiones celulares para dar origen a estructuras celulares organizadas en centros meristemáticos denominados meristemoides, cuyas células poseían abundantes cloroplastos. En estos meristemoides continuaron las divisiones celulares para formar los meristemas y posteriormente los brotes adventicios.



**Cuadro 1. Cultivos asépticos *in vitro* y respuesta de organogénesis en explantos de maguey espadín (*A. angustifolia*)**

Fecha	CEE y (%)	CEC y (%)	CENV (%)	CEAAV (%)	CEAVPV (%)
20/10/17	36(100%)	24(66.6%)	4(11.11%)	5 (13.88%)	3(8.33%)
27/10/17	34(100%)	15(44.1%)	5(14.70%)	10(29.41%)	4(11.76%)
16/11/17	31(100%)	23(74.19%)	4(12.90%)	2(6.45%)	2(6.45%)
24/11/17	46(100%)	5(10.86%)	18(39.13%)	15(32.60%)	8(17.39%)
30/11/17	55(100%)	20(36.36%)	20(36.36%)	10(18.18%)	5(9.09%)
07/12/17	54(100%)	11(20.37%)	30(55.55%)	7(12.96%)	6(11.11%)
19/12/17	37(100%)	5(13.51%)	8(21.62%)	12(32.43%)	12(32.43%)

CEE= cantidad de explantos establecidos. CEC= explantos contaminados; CENV= cantidad de explantos no viables. CEAAV = cantidad de explantos asépticos con apariencia viables; CEAVPV= cantidad de explantos asépticos, viables con pigmentación verde

De igual manera, con el maguey tepextate (*Agave marmorata*) se obtuvo la formación de brotes adventicios a partir de los explantos de tejidos de tallo, incubados durante 80 días (Cuadro 2). En condiciones similares de cultivo, la respuesta de la organogénesis presentó algunas variaciones que dependen de la especie, ya que en algunos brotes de *Agave angustifolia* ocurrió la formación de raíces, mientras que en el *Agave marmorata* los brotes adventicios formados fueron de mayor tamaño y su pigmentación verde más oscura.

**Cuadro 2. Cultivos asépticos *in vitro* de tejidos de tallo de maguey tepextate (*A. marmorata*), que en el transcurso de 80 días mostraron respuesta de organogénesis**

Fecha	CEE y (%)	CEC y (%)	CENV y (%)	CEAAV y (%)	CEAVPV (%)
27/10/17	16(100%)	14(87.5%)	1(6.25%)	1(6.25%)	0(0%)
16/11/17	19(100%)	15(78.94%)	1(5.26%)	2(10.52%)	1(5.26%)
30/11/17	27(100%)	17(62.96%)	2(7.40%)	3(11.11%)	5(18.51%)
08/12/17	27(100%)	15(55.55%)	3(11.11%)	6(22.22%)	3(11.11%)
19/12/17	25(100%)	9(36%)	3(12%)	7(28%)	6(24%)

CEE= cantidad de explantos establecidos. CEC= explantos contaminados; CENV= cantidad de explantos no viables. CEAAV = cantidad de explantos asépticos con apariencia viables; CEAVPV= cantidad de explantos asépticos, viables con pigmentación verde



**Figura 2.** Etapas de desarrollo de los tejidos de tallo del maguey tepextate (*Agave marmorata*).

### CONCLUSIONES

Fue posible el establecimiento de cultivos asépticos de tejidos de tallos de *A. marmorata* y *A. angustifolia*, como paso inicial para la propagación *in vitro*. A partir de 20 plantas de *Agave angustifolia* se obtuvo un total de 586 explantos de tejidos de tallo, de los cuales 202 (34.47%) resultaron asépticos, viables, con pigmentación verde e inicios de respuesta de organogénesis, en cuatro de estos explantos ocurrió la formación de pequeños brotes adventicios. A partir de 15 plantas de *Agave marmorata* se obtuvieron 228 explantos de tejidos de tallo, de los cuales 68 (29.82%) resultaron asépticos, viables, con pigmentación verde e inicios de respuesta de organogénesis, en ocho de éstos ocurrió la formación de brotes adventicios.

### LITERATURA CITADA

- Das, T. 1992. Micropropagation of *Agave sisalana*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 31: 253–255.
- Domínguez-Rosales, M. S., J. González, Ma. de la L., G. C. Rosales, C. Quiñones V., de L. S. Delgadillo D., S. J. Mireles O. y E. Pérez, B. 2008. El cultivo *in vitro* como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 16(41): 53-62.
- Enríquez-del Valle, J.R., G. Carrillo-Castañeda y J.L. Rodríguez-de la O. 2005. Sales inorgánicas y ácido indolbutírico en el enraizado *in vitro* de brotes de *Agave angustifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 175-178.
- Enríquez-del Valle, J. R. 2008. La propagación y crecimiento de Agaves. Fundación Produce Oaxaca A. C. e Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. México. 48 p.
- Hazra, S. K., D. Sudripta and A. K. Das. 2002. Sisal plant regeneration via organogenesis. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 70: 235–240.
- Jiménez-Valdés, M., H. M. Godínez-Álvarez, J. Caballero and R. Lira. 2010. Population Dynamics of *Agave marmorata* Roehl. under Two Contrasting Management Systems in Central Mexico. *Economic Botany* 64(2): 149-160. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9117-0>

- Madrigal L., R., F. Pineda-Estrada, J.L Rodríguez-de la O. 1990 Agave. pp 206–227. *In: Handbook of Plant Cell Culture, Vol 5. Ornamental Species, Chapter 9.* Ammirato, PV, Evans, DA, Sharp, WR & Bajaj, YPS (Eds). New York. McGraw Hill Publ. Co.
- Martínez T., S., T. Cisneros-Méndez, V. Lara-Echegaray & A. Linares-Martínez. 2013. Diagnóstico del sistema producto maguey-mezcal en el estado de Oaxaca. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). México. 176 p.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962 A revised médium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plantarum* 15: 473-497.
- Nikam, T.D. 1997. High frequency shoot regeneration in *Agave sisalana*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 51: 225- 228.
- Nikam, T.D., G. M. Bansude and K. C. Kumar. 2003. Somatic embryogenesis in sisal (*A. sisalana* Perr. ex. Engelm). *Plant Cell Reports* 22: 188-194.
- Palma, F., P. Pérez y V. Meza. 2016. Diagnóstico de la cadena de valor mezcal en las regiones de Oaxaca. Oaxaca. COPLADE- Gobierno del Estado de Oaxaca. 83 p.
- Portillo, L., F. Santacruz-Ruvalcaba, A. Gutiérrez-Mora and B. Rodríguez-Garay. 2007. Somatic embryogenesis in *Agave tequilana* Weber cultivar azul. *Rev In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 43: 569–575.
- Ríos-Ramírez S.C., J.R. Enríquez-del Valle, G. Rodríguez-Ortiz, J. Ruíz-Luna and V. A. Velasco-Velasco. 2018. *In vitro* formation of adventitious shoots on caulinary tissue of physiologically contrasting *Agave angustifolia* plants. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 30(1): 49-56. doi: 10.9755/ejfa.2018.v 30.i1.1584
- Robert, M. L., L. Herrera J., F. Contreras and N. K. Score. 1987. *In vitro* propagation of *Agave fourcroydes* Lem (Henequén). *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 8: 37-48.
- Rodrigues-Borges S., A. Xavier, L. Silva-de Oliveira, A. Pontes L., W. Campos O., E. Keiko T. & L. Amaral-de Melo. 2012. Establecimiento *in vitro* de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. *Ciência Florestal, Santa Maria* 22(3): 605-616. <http://www.scielo.br/cflo>
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In: Proceedings 6 International Congress on Soilless Culture.* Wageningen. The Netherlands.
- Thompson M.R. and T.A. Thorpe. 1997. Analysis of protein patterns during shoot initiation in cultured *Pinus radiata* cotyledons. *J. Plant Physiol* 151: 724- 734.
- Valenzuela-Sánchez, K. K., R. E. Juárez-Hernández, A. Cruz-Hernández, V. Olalde- Portugal, M. E. Valverde y O. Paredes-López. 2006. Plant regeneration of *Agave tequilana* by indirect organogenesis. *In vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 42: 336–340.
- Villalobos, V.M., E. C. Yeung and T. A. Thorpe. 1985. Origin of adventitious shoots in excised *radiata* pine cotyledons cultured *in vitro*. *Can. J. Bot.* 63: 2172- 2176.

## CRECIMIENTO Y CONDICIÓN NUTRIMENTAL DE PLANTAS MICROPROPAGADAS DE *Agave angustifolia* ABONADAS Y FERTIRRIGADAS EN VIVERO<sup>1</sup>

### [GROWTH AND NUTRITIONAL CONDITION OF MICROPROPAGATED *Agave angustifolia* PLANTS MANURED AND FERTIGATED IN NURSERY]

José Raymundo Enríquez del Valle<sup>1§</sup>, Gerardo Rodríguez-Ortiz<sup>1</sup>, Judith Ruiz Luna<sup>1</sup>, Antonia Jesús Pacheco  
Ramírez<sup>1</sup>, Lourdes Vásquez Vásquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230. §Autor para correspondencia: (jenriquezdelvalle@yahoo.com).

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento en vivero de plantas de *Agave angustifolia* Haw. Micropropagadas – aclimatizadas, que en vivero estuvieron en sustratos con cantidades diferentes de abono y se les aplicó diferente tipo de riego, solo agua o solución nutritiva. Las plantas micropropagadas se transfirieron a contenedores con sustrato turba- perlita, para su aclimatización durante 70 días en invernadero y posteriormente al vivero para someterlas durante 250 días a 20 tratamientos resultantes de combinar niveles de dos factores: 1) abono contenido en el sustrato, en cinco niveles (0, 25, 50, 75 y 100% del volumen) y, 2) tipo de riego, en cuatro niveles (sólo agua, biofertilizante líquido, soluciones nutritivas al 50 o 100% de la formulación de Steiner). Se evaluaron características de tallo, hojas y raíz, y contenido de nutrientes en las hojas. Los resultados mostraron que las plantas de *Agave* micropropagadas y aclimatizadas, transcurridos 250 días en vivero, alcanzaron tamaño mayor conforme el contenido de abono en el sustrato se incrementó y en respuesta a la fertirrigación, ya sea orgánica o mineral. Las plantas en sustratos sin abono y no fertirrigadas, así como las plantas en sustratos con 75% de abono y fertirrigadas con biofertilizante líquido tuvieron 14.5 y 22 hojas, de 25.1 y 31.9 cm de longitud, 22.4 y 48.9 g de materia seca foliar; el tallo de 1.9 y 3.2 cm de diámetro, con 1.33 y 2.89 g de materia seca en tallo; su biomasa total fue de 29.4 y 58.1 g, respectivamente.

**Palabras clave:** Abono, *Agave angustifolia*, crecimiento en vivero, fertirriego, solución nutritiva.

### ABSTRACT

Micropropagated *Agave angustifolia* Haw plants were transferred to containers with substrate peat moss-perlite for their acclimatization for 70 days in greenhouse and after in a nursery to submit them for 250 days to 20 treatments which included five substrates with different manure content (0, 25, 50, 75 y 100% volume) and four levels of irrigation: water (1), fertigation using liquid biofertilizer (2) or the Steiner's nutritive solution, SN, at 50% (3) or SN 100% (4) of ion concentration. The characteristics of stem, leaves and roots, and nutrient content in leaves were evaluated. When the experiment was finished, the substrates and the nutrient content in leaves were analyzed. Figures were submitted to analysis of variance and the Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ). The results

---

<sup>1</sup> Recibido: 12 de noviembre de 2018.  
Aceptado: 10 de diciembre de 2018.

showed that the *Agave* plants micropropagated and acclimatized for 70 days in greenhouse, and further 250 days in nursery, reached, bigger size in positive relation to the manure content in the substrate and the fertigation, whether organic or mineral. The plants established in substrates without manure and were not fertigated, and the plants established in substrates with 75% organic fertilizer and fertigated with biofertilizer had 14.5 and 22 leaves, which were 25 and 31.9 cm long, and 22.4 y 48.9 g of foliar dry matter; the stem was 1.96 and 3.2 cm in diameter and accumulated 1.33 y 2.89 g of dry matter; the total dry matter was 29.4 y 58.1 g, respectively.

**Index words:** Manure, *Agave angustifolia*, growth in nursery, fertigation, nutritious solution.

## INTRODUCCIÓN

En México, hay 251 especies de agaves, que se aprovechan para obtención de fibras duras, alimento, medicina, construcción, forraje, cercas vivas, extracción de azúcares, elaborar bebidas fermentadas como el pulque y sobre todo bebidas destiladas como el mezcal (García-Mendoza *et al.*, 2004) y algunas especies son evaluadas como materia prima para producir biocombustibles (Escamilla-Treviño, 2012). El cultivo de *Agave angustifolia* es de importancia económica para el estado de Oaxaca, donde se usa para la producción del mezcal y edulcorantes. Las principales especies cultivadas de *Agave*: *A. tequilana*, *A. fourcroydes*, *A. sisalana*, *A. angustifolia*, son propagadas asexualmente, principalmente mediante vástagos de rizoma, en menor proporción mediante bulbilos de la inflorescencia y en menor cantidad mediante cultivo de tejidos vegetales (Enríquez-del Valle, 2008). Los agaves son plantas rústicas que requieren cuidados mínimos, por lo que no se ha dado atención suficiente a estudiar condiciones de cultivo que puedan promover aumentos de rendimiento, como el abastecimiento de nutrimentos, pues se piensa que por estar adaptadas a terrenos de baja fertilidad la especie no requiere fertilización. Pero se ha demostrado la importancia del abastecimiento de nutrimentos a las plantas de agave, en su condición nutrimental y rendimiento (Valenzuela y González, 1995). En diversas especies de cultivo, la condición nutrimental, principalmente de nitrógeno afecta el índice de área foliar y las tasas fotosintéticas foliares, que están asociadas con la producción de materia seca. En el caso de sorgo el rendimiento de grano está asociado a área foliar verde y una planta en condición de deficiencia de N tiene menos área foliar, clorofila foliar y tasa fotosintética (Zhao *et al.*, 2005).

Entre los fertilizantes están los denominados abonos orgánicos, que incluyen al abono verde, estiércol, rastrojo, paja, desechos de cocina, que al descomponerse dejan nutrimentos disponibles para las plantas (Peña *et al.*, 2002). Un suelo al que se adiciona materia orgánica mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas, que es condición para aumentar la productividad de los cultivos (Wander *et al.*, 1994).

Para aplicar fertilizantes, es necesario conocer los requerimientos nutrimentales de las plantas, por lo que conviene analizar el contenido mineral en el material vegetal. La aplicación de fertilizantes se puede hacer incorporando éstos en forma granular al sustrato, o disueltos en el agua de riego. Mediante la aplicación de soluciones nutritivas es posible dosificar el abastecimiento de nutrimentos a las plantas, este método es frecuentemente usado en estudios de nutrición vegetal pero también en sistemas productivos (Reddy y Matcha, 2010). Las soluciones nutritivas que se aplican a los cultivos se preparan con fertilizantes minerales, pero también es posible preparar biofertilizantes líquidos, que son soluciones nutritivas que usan materiales orgánicos. Se tienen antecedentes de la propagación *in vitro* de *Agave angustifolia* Haw (Enríquez-del Valle *et al.*, 2005; Ríos-Ramírez *et al.*, 2017; Ríos-Ramírez *et al.*, 2018) y las plantas micropropagadas-aclimatizadas

que durante seis meses en vivero se establecieron en sustratos con compost y fertirrigaron, lograron mayor crecimiento, en comparación a plantas que estuvieron en sustrato con menor contenido de materia orgánica y se irrigaron con solo agua (Enríquez-del Valle *et al.*, 2009). Plantas micropropagadas- aclimatizadas se han establecido durante ocho a doce meses en vivero y transferido a campo (Enríquez- del Valle, 2008). En el procedimiento de producción de plantas en vivero interesa generar más información sobre los diversos factores, tales como sustratos y fertilización, que influyen para obtener plantas de calidad superior. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* Haw micropropagadas- aclimatizadas, que en condiciones de vivero se establecieron en sustratos con diferentes concentraciones de abono orgánico, a las que se les aplicó fertirriego mineral u orgánico durante 250 días.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Cuatrocientas plantas de *Agave angustifolia* micropropagadas, se transfirieron de *in vitro* a charolas de 26.5x 54.5 y 6 cm de altura, divididas en 50 cavidades de forma de cono truncado invertido de 4.5 cm de diámetro superior, 2.5 cm de diámetro inferior, 6 cm altura, 57.7 cm<sup>3</sup>, con un sustrato de 1:1 perlita-turba de musgo y establecieron durante 70 días en un invernadero de aclimatización, en condiciones de radiación solar a 400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , humedad relativa alta (80-90%) creada por un sistema de riego mediante nebulización intermitente de 10 seg cada 12 min en horarios de 10:30 a 15:00. Transcurrido el periodo de aclimatización se seleccionaron 300 plantas, lo más homogéneas posible en número de hojas, longitud de la hoja mayor, y de apariencia sanas; para transferirlas a vivero en donde se establecieron individualmente en bolsas de polietileno negro de 1500 cm<sup>3</sup>. El total de plantas se separó en cinco grupos para establecerlas en cinco sustratos diferentes, que consistieron de mezclas de suelo- abono bovino en proporciones de volumen diferentes (100- 0, 75- 25, 50- 50, 25- 75 y 0- 100). Se tuvieron 60 plantas en cada tipo de sustrato, las que se separaron en cuatro sub-grupos de 15 plantas para someterlas durante 250 días a diferente condición de irrigación: agua potable (1), fertirriego con biofertilizante líquido (2), o soluciones nutritivas, SN, a 50% (3) y 100% (4) de concentración de nutrientes de la formulación de Steiner (1984). A cada planta se aplicó una vez a la semana, 150 mL de su correspondiente condición de riego. La solución universal Steiner contiene en mg L<sup>-1</sup>: 137.28 N, 30.67 P, 315.15 K, 149.62 Ca, 21.45 Mg, 74.51 S, 1.33 Fe, 0.201 Mn, 0.077 B, 0.019 Mo, 0.0375 Zn y 0.00065 Cu.

El abono para el sustrato se preparó con 2 kg de carbón, 2 kg de cal, 250 kg de estiércol bovino de cuatro meses en descomposición, 250 g de levadura, 2 kg de panela, 300 kg de tierra, 50 kg de pasto seco y 20 L de agua, de acuerdo con el procedimiento descrito por Restrepo (1996), del mismo autor se tomó la metodología para preparar el biofertilizante líquido que contenía por cada 200 L de agua, 50 kg de estiércol fresco de bovino, dos kg de panela, dos L de leche, 250 ml de agua oxigenada. Esta mezcla de dejó en fermentación durante 15 días antes de su uso.

El experimento se estableció de acuerdo a un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial 5x4 (cinco niveles del factor sustrato y cuatro niveles del factor tipo de riego), por lo que resultaron 20 tratamientos (Cuadro 1). La unidad experimental fue una planta, y se tuvieron 15 repeticiones por tratamiento. Transcurridos 250 días se cosecharon al azar seis plantas de cada tratamiento para cuantificar: número de hojas, altura de la planta, longitud y volumen de raíz, diámetro de tallo, materia seca acumulada en tallo, foliar, raíz y total; contenido de macronutrientes en las hojas. Los datos se sometieron a análisis de varianza y la prueba de Tukey para comparación de medias (SAS Institute Inc., 2011).

**Cuadro 1. Tratamientos (T) que resultaron de la combinación de niveles del factor sustrato y del factor tipo de riego.**

Factor sustrato	Factor tipo de riego			
	Agua	Biofert	SN50	SN100
100- 0	T1	T6	T11	T16
75- 25	T2	T7	T12	T17
50- 50	T3	T8	T13	T18
25- 75	T4	T9	T14	T19
0-100	T5	T10	T15	T20

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se tienen antecedentes de la propagación *in vitro* de diversas especies de *Agave*: *A. fourcroydes* (Binh *et al.*, 1990), *A. tequilana* (Valenzuela-Sánchez *et al.*, 2006; Ángeles-Espino *et al.*, 2012), *A. grijalvensis* (Sánchez-Urbina *et al.*, 2008), en los que se describe el procedimiento de propagación *in vitro*. Plantas de *A. americana* var. *oaxacensis* micropropagadas se establecieron en condiciones de sustrato y ambiente de invernadero en donde se fertirrigaron durante 84 días de la etapa de aclimatización en invernadero, mostrando evidencias de que las plantas alcanzaron tamaño mayor en respuesta al abastecimiento nutrimental (Enríquez-del Valle *et al.*, 2013). Cruz-García *et al.* (2017) micropropagaron y trasplantaron a contenedores con sustrato, plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis*. Durante 240 días de aclimatización en las plantas ocurrió la senescencia gradual de las hojas provenientes del cultivo *in vitro* y estas hojas fueron sustituidas por nuevas hojas que fueron más grandes, de 11.6 a 18.2 cm de longitud, 1.7 a 2.5 cm de ancho, engrosadas, y de consistencia herbácea pero más rígidas en comparación a la consistencia que tenían las hojas al inicio del experimento. Y comentan que al término de esta etapa todas las plantas sobrevivieron, pero menos hojas que al inicio de la aclimatización, aunque más largas y anchas, y su tamaño estuvo en relación a la cantidad de nutrimentos que recibieron. Enríquez-del Valle *et al.* (2009) y Enríquez-del Valle *et al.* (2012) micropropagaron plantas de *A. angustifolia* y las transfirieron de *in vitro* a macetas con sustrato para aclimatizarlas durante 70 días en invernadero. Posteriormente se evaluó el crecimiento en vivero de esas plantas aclimatizadas al establecerlas en diferentes sustratos y condiciones de fertilización. Durante estas etapas se demostró que el abastecimiento de nutrimentos es una condición apropiada para la adaptación y crecimiento de las plantas. Crespo-González *et al.* (2013) evaluaron plantas micropropagadas de *Agave tequilana* Weber que a partir de 16 meses de crecimiento *ex vitro* se establecieron durante nueve meses en diversos sustratos que tenían polvo de coco, turba, y compost de bagazo de agave, solos o combinados. Transcurrido ese tiempo las plantas que tuvieron mejor crecimiento fueron las que se establecieron en sustrato con composta de bagazo de agave al 50%. En dicho trabajo se considera que el diámetro de tallo, número de hojas, longitud y ancho de las hojas son características que pueden emplearse como criterio de calidad en plantas de agave. No se tienen datos suficientes sobre el comportamiento de plantas de agave micropropagadas en etapas posteriores a la aclimatización.

En diversas especies de cultivo, la condición nutrimental, principalmente de nitrógeno afecta el índice de área foliar y las tasas fotosintéticas foliares, que están asociadas con la producción de

materia seca. En el caso de olivo (*Olea europea* L.) plantas de un año de edad sometidas a deficiencia de N, tuvieron menos nitrógeno foliar, clorofila *a* y mostraron significativa reducción de capacidad fotosintética, comparadas con plantas que recibieron adecuando suministro de N (Boussadia *et al.*, 2010). Doscientas cuarenta plantas de *Ricinus communis* L. cv. ‘Hale’ obtenidas de semillas que a partir de la emergencia de plántulas y hasta los 34 días después de la siembra, (dds), recibieron solución de Hoagland completa. Posteriormente el total de plantas se separó en tres grupos para aplicarles diariamente hasta el día 66 dds, solución nutritiva con concentraciones diferentes de nitrógeno: N en concentración completa (100%), N reducido a 20%, y sin N. Al reducir el abastecimiento de N, las plantas mostraron crecimiento limitado, pero esta limitación fue más notoria en área foliar y peso seco foliar. La relación Raíz/brote fue mayor en las plantas en condición de deficiencia de N. Las plantas fertirrigadas con la solución nutritiva completa y las que recibieron la solución nutritiva carente de N, tuvieron respectivamente, 70 y 12.6 g N kg<sup>-1</sup> en las hojas, 199.5 y 89.4 g de peso seco total; 111.7 y 69.6 cm de altura; 0.93 y 0.23 m<sup>2</sup> de área foliar; su actividad fotosintética fue de 44 y 13 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Reddy y Matcha, 2010).

**Cuadro 2. Análisis de varianza, para el efecto proporción de abono en el sustrato, dosis de fertirriego e interacción de los mismos, en cada una de las variables evaluadas en órganos de *Agave angustifolia* Haw.**

F.V.	G.L.	Cuadrados medios y significancia					
		Raíz		Hojas		Tallo	
		Long	Vol.	Cantidad	Tamaño	Diámetro	PF
S	4	379.7 *	2843.9 **	190.9 **	133.3 **	2.40 **	239.9 **
F	3	89.4 ns	473.4 *	0.8 ns	10.7 *	0.16 *	10.0 ns
S* F	12	264.2 *	186.8 ns	3.5 ns	3.9 ns	0.09 ns	6.8 ns
Error	100	130.9	137.0	4.6	3.3	0.06	4.5
Total	119						

F.V.= fuentes de variación; G.L.= grados de libertad; S= sustrato; F= fertirriego; S\*F= interacción; Long=longitud; Vol= volumen; PF= peso fresco \*= valor de F significativo (P≤ 0.05); \*\*= valor de F altamente significativo (P≤ 0.01).

En el presente trabajo, los análisis de varianza mostraron que los sustratos tuvieron diferencias de efecto significativas (P ≤ 0.05) en longitud de raíz, y altamente significativas (P ≤ 0.01) en volumen de raíz, cantidad de hojas, longitud de la hoja mayor, diámetro y peso fresco del tallo; materia seca acumulada en raíz, tallo y hojas; contenido de fósforo, nitrógeno, potasio y magnesio en las hojas. Las variantes de abastecimiento de nutrimentos mediante el riego mostraron diferencias de efecto significativas (P≤ 0.05) en volumen de raíz, longitud de la hoja mayor, diámetro de tallo, y altamente significativas (P≤ 0.01) en el contenido de P, N, Ca y Mg en las hojas. La interacción de tipo de sustrato y abastecimiento de nutrimentos mediante riego sólo tuvo efecto significativo (P≤ 0.05) en la longitud de raíz (Cuadros 2, 3, 4).

**Cuadro 3. Análisis de varianza de biomasa total y la materia seca acumulada en los diversos órganos de las plantas de *Agave angustifolia* de 10 meses en vivero.**

F.V.	G.L.	Materia seca acumulada (g)		
		Raíz	Tallo	Hojas
S	4	27.1 **	10.0 **	2300.0 **
F	3	6.9 ns	0.6 ns	27.4 ns
S*F	12	6.5 ns	0.8 ns	78.2
Error	100	3.7	0.5	60.2
Total	119			

F.V.= fuentes de variación; G.L.= grados de libertad; S= sustrato; F=fertirriego; S\*F= interacción; \*= valor de F significativo ( $P \leq 0.05$ ); \*\*= valor de F altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ); ns= no significativo ( $P > 0.05$ )

**Cuadro 4. Análisis de varianza, para el efecto proporción de abono en el sustrato y dosis de fertirriego e interacción de los mismos, en cada uno de los macronutrientes evaluados en hojas de *Agave angustifolia* Haw.**

F.V.	G.L.	Cuadrados medios y significancia				
		P	N	K	Ca	Mg
S	4	0.019 **	0.581 **	1.655 **	0.303 ns	0.664 **
F	3	0.038 **	0.118 **	0.040 ns	6.528 **	0.040 **
S*F	12	0.002 ns	0.013 ns	0.025 ns	0.686 ns	0.005 ns
Error	40	0.002	0.010	0.020	0.933	0.003
Total	59					

F.V.= fuentes de variación; G.L.= grados de libertad; S= sustrato; F= fertirriego; S\*F= interacción; P= fósforo; N= nitrógeno; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio. \*= F significativo ( $P \leq 0.05$ ); \*\*= F altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ); ns = F no significativo ( $P > 0.05$ ).

La incorporación de cantidades crecientes de abono en el sustrato hasta el 50% de su volumen, tuvo efecto positivo para que las plantas alcanzaran tamaño mayor, ya que las plantas que se establecieron en sustrato sin abono, y las plantas establecidas en sustrato con 50% de abono, formaron en promedio 15.0 y 21.5 hojas, la hoja mayor de 26.6 y 32.0 cm de longitud; el tallo de 2.2 y 2.9 cm de diámetro, que tuvo 4.5 y 11.6 g de peso fresco; la materia seca en raíz fue de 5.4 y 8.3 g, en tallo fue de 1.5 y 3.2 g, foliar fue de 26.8 y 52.6 g, respectivamente, magnitudes que en cada caso fueron significativamente diferentes (Tukey, 0.05) (Cuadros 5 y 6). Se observa que, de la biomasa total, entre el 79.4 a 83.15% se acumuló en las hojas, entre el 4.59 y 5.23% en el tallo, y entre 11.86 y 16.0 en la raíz. Las plantas acumularon más biomasa en relación positiva con la cantidad de abono en el sustrato, pero la proporción de la biomasa que se acumuló en la raíz disminuyó, mientras que la proporción de la biomasa que se acumuló en las hojas aumentó (Cuadro 6). Las plantas establecidas en sustratos con 75 a 100% de abono no lograron crecimiento adicional, respecto a aquellas plantas establecidas en sustrato con 50% abono.

**Cuadro 5. Características de plantas de *Agave angustifolia* Haw. micropropagadas en respuesta a los factores tipo de riego, o cantidad de abono en el sustrato.**

Factor tipo de riego	Características					
	LR (cm)	VR (cm <sup>3</sup> )	NH	LH	DT	PFT
Agua	45.14 a	46.4 a	19.58 a	29.52 b	2.66 b	9.64 a
Biofert	41.64 a	44.56 ab	19.94 a	30.50 ab	2.88 a	10.10 a
SN50	43.08 a	42.4 ab	19.78 a	30.72 ab	2.72 ab	10.08 a
SN100	41.41 a	37.22 b	19.90 a	30.80 a	2.74 ab	8.88 a
Factor cantidad de abono						
Sin abono	49.15 a	25.27 c	15.05 c	26.65 c	2.20 c	4.52 c
25% Abono	42.30 ab	41.10 b	20.00 b	29.67 b	2.75 b	8.97 b
50% Abono	43.10 ab	54.10 a	21.55 ab	32.05 a	2.92ab	11.60 a
75% Abono	41.22 ab	48.60 ab	22.25 a	31.07 ab	3.02 a	12.45 a
100% Abono	38.30 b	44.15 b	20.15 b	32.47 a	2.85 ab	10.82 a

LR= longitud de de raíz; VR= volumen de raíz; NH= número de hojas; LH= longitud de hoja; DT= diámetro de tallo; PFT= peso fresco de tallo. SN50= solución nutritiva a 50% de concentración de nutrientes; SN100= solución nutritiva a 100% de concentración de nutrientes. En cada columna y factor, medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

**Cuadro 6. Materia seca acumulada en plantas de *Agave angustifolia* Haw micropropagadas en respuesta a los factores tipo de riego, o cantidad de abono en el sustrato.**

Factor tipo de riego	Materia seca acumulada (g)			
	Raíz	Tallo	Foliar	Total
Agua	7.11 a (13.81%)	2.69 a (5.22%)	41.66 a (80.95%)	51.46 a
Biofertilizante	6.98 a (13.20%)	2.64 a (5.00%)	43.20 a (81.80%)	52.82 a
SN50	6.94 a (13.09%)	2.68 a (5.05%)	43.40 a (81.86%)	53.02a
SN100	5.86 a (11.75%)	2.41 a (4.81%)	41.60 a (83.43%)	49.86 a
Factor cantidad de abono				
Sin abono	5.40 b (16.0%)	1.55 c (4.59%)	26.80 c (79.4%)	33.75 c
25% Abono	6.87 ab (13.32%)	2.65 ab (5.13%)	42.05 b (81.5%)	51.57 ab
50% Abono	8.33 a (12.98%)	3.20 a (4.98%)	52.60 a (82.0%)	64.13 a
75% Abono	6.94 ab (11.90%)	3.05 ab (5.23%)	48.32 ab (82.8%)	58.31 ab
100% Abono	6.07 b (11.86%)	2.55 b (4.98%)	42.55 b (83.15%)	51.17 b

SN50= solución nutritiva a 50% de concentración de nutrientes; SN100= solución nutritiva a 100% de concentración de nutrientes. En cada columna y factor, medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

El contenido de nutrimentos P, K, Mg y N en las hojas aumentó en relación positiva, mientras que el Ca disminuyó en relación al contenido creciente de abono en el sustrato, de tal manera que las plantas establecidas en sustrato sin abono y las plantas establecidas en sustrato con 100% abono, sus hojas tuvieron en mg g<sup>-1</sup> de materia seca: 2.55 y 3.52 P, 7.77 y 17.88 K, 4.31 y 9.71 Mg, 6.62 y 11.47 N, 59.53 y 56.05 Ca, respectivamente, cantidades que en cada caso fueron significativamente diferentes (Tukey,0.05) (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Contenido de nutrimentos en las hojas de plantas de *Agave angustifolia* Haw micropropagadas en respuesta a los factores tipo de riego, o cantidad de abono en el sustrato.**

Factor tipo de riego	Macronutrimentos (mg g <sup>-1</sup> )				
	P	K	Ca	Mg	N
Agua	2.764 b	12.534 c	53.220 c	6.312 d	8.79 c
Biofertilizante	3.692 a	13.278 a	68.408 a	7.232 a	10.02 ab
SN50	2.610 d	12.172 d	56.652 b	6.440 c	9.02 bc
SN100	2.70 c	13.140b	57.202 b	6.992 b	10.69 a
Factor cantidad de abono					
Sin abono	2.55 d	7.77 e	59.53 a	4.31 e	6.62 c
25% Abono	2.72 c	11.11 d	59.92 a	5.22 d	8.637 b
50% Abono	2.74 c	13.39 c	59.54 a	5.89c	9.371 b
75% Abono	3.19b	13.76 b	59.31 a	8.84 b	12.05 a
100% Abono	3.52 a	17.88 a	56.05 b	9.71 a	11.47 a

P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; N= nitrógeno. SN50= solución nutritiva a 50% de concentración de nutrimentos; SN100= solución nutritiva a 100% de concentración de nutrimentos. En cada columna y factor, medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

## CONCLUSIONES

Las plantas de *Agave* que se establecieron en sustratos sin abono y no se fertirrigaron, desarrollaron raíces más largas, pero menos ramificadas y de menor volumen, las hojas y tallo más pequeñas, en comparación a plantas establecidas en sustratos con abono y fertirrigadas. Las plantas establecidas en sustratos con 50 % o más de abono tuvieron hojas, tallo y volumen de raíz, de tamaño mayor que las plantas en sustratos sin abono. Las plantas de *Agave angustifolia* alcanzaron mayor tamaño en respuesta al abastecimiento de nutrimentos, ya sea mediante incorporación de abono al sustrato o bien mediante fertirriego. Las plantas que se establecieron en el sustrato que contenía el 50% de abono, fertirrigadas con la solución a 50 % de nutrimentos y las plantas establecidas en sustratos sin abono, que no recibieron fertirriego, tuvieron 22 y 14 hojas, de 32.7 y 25.1 cm de longitud; el tallo de 2.9 y 1.9 cm de diámetro, así como 71.4 y 29.8 g de biomasa total, respectivamente. El contenido de macroelementos (N, P, K y Mg) en la materia seca de las hojas de *Agave*, fue mayor en las plantas establecidas en los sustratos con concentraciones altas de abono (75 y 100%), en comparación a las plantas no fertilizadas. La materia seca foliar de las plantas establecidas en sustratos con 100% abono, biofertilizadas, así como las plantas establecidas en sustrato sin abono

y que no recibieron fertirriego tuvieron en promedio, mg g<sup>-1</sup>: 12.0 y 6.0 de N, 4.4 y 2.3 de fósforo, 17.1 y 8.1 de K, 10.4 y 4.2 de Mg, así como 60.0 y 60.0 de Ca, respectivamente.

### LITERATURA CITADA

- Angeles-Espino A., A. J. Valencia-Botín, G. Virgen-Calleros, C. Ramírez-Serrano, L. Paredes-Gutiérrez y S. Hurtado-De la Peña. 2012. Micropropagación de agave (*Agave tequilana* Weber. var. *Azul*) a través de yemas axilares. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15:693-698.
- Binh, L. T., L.T. Muoi, H.T.K Oanh, T.D. Thang and D.T. Phong. 1990. Rapid propagation of agave by *in vitro* tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 23: 67-70.
- Boussadia, O., K. Steppe, H. Zgallai, S. Ben El Hadj, M. Braham, R. Lemeur and M.C. Van Labeke. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars ‘Meski’ and ‘Koroneiki’. *Scientia Horticulturae* 123: 336- 342.
- Crespo-González M.R., D. R. González-Eguiarte, R. Rodríguez-Macías, L.A. Rendón-Salcido, J.I. Real-Laborde y J.P. Torres-Morán. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8): 1161-1173.
- Cruz-García H., G.V. Campos-Ángeles, J.R. Enríquez-del Valle, V. A. Velasco-Velasco y G. Rodríguez-Ortiz. 2017. Senescencia foliar en plantas micropropagadas de *Agave americana* durante su aclimatización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(2): 381-391.
- Enríquez-del Valle, J.R. 2008. La Propagación y crecimiento de agaves. Fundación Produce Oaxaca A.C.- Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. 46 p.
- Enríquez-del Valle, J.R., G. Carrillo-Castañeda, and J. Rodríguez-de la O. 2005. Sales inorgánicas y ácido indolbutírico en el enraizamiento *in vitro* de brotes de *Agave angustifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:175-178.
- Enríquez- del Valle, J.R., V. A. Velasco- Velasco, G.V. Campos-Ángeles, E. Hernández-Gallardo y M.N. Rodríguez- Mendoza. 2009. *Agave angustifolia* plants grown with different fertigation doses and organicsubstrates. *Acta Horticulturae* 843: 49- 55.
- Enríquez- del Valle., J.R., I. Cruz- Valdez and G. Carrillo-Castañeda. 2012. Acclimatization of *Agave angustifolia* Haw vitroplants in inert substrates and fertigated with different nutrimental dose. *Acta Horticulturae* 947: 101- 104.
- Enríquez- del Valle., J.R., A. Estrada-Silias, G. Rodríguez-Ortiz, V.A. Velasco-Velasco y G.V. Campos-Ángeles. 2013. Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitroplantas de *Agave americana* var. *oaxacencis*. *Rev. FCA UNCUYO* 45(2): 341-348.
- Escamilla-Treviño, L.L. 2012. Potential of plants from the genus *Agave* as bioenergy crops. *Bioenergy Research* 5: 1-9.
- García-Mendoza A. J., M. Ordóñez J. y M Briones S. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. REDACTA, S.A. de C. V. México. D. F. 154 p.
- Peña T. E., M. Ramírez C., F. Martínez, A. Rodríguez N. y N. Companioni C. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. La Habana Cuba. 87 p.
- Reddy K.R. and S.K. Matcha. 2010. Quantifying nitrogen effects on castor bean (*Ricinus communis* L.) development, growth and photosynthesis. *Industrial Crops and Products* 31: 185-191. Doi: 10.1016/j.indcrop.2009.10.004
- Restrepo, R. J. 1996. Cartilla de abonos orgánicos y caldos minerales, experiencias de agricultores del Estado de México y Querétaro. Asociación Ambientalista Guerreros Verdes. A. C. 58 p.

- Ríos-Ramírez S.C., J. R. Enríquez-del Valle, G. Rodríguez-Ortiz and J-Ruíz-Luna. 2017. Benzylaminopurine and indol-3-acetic acid concentrations in *in vitro* proliferation of *Agave angustifolia* adventitious shoots. *Cien. Inv. Agr.* 44(3): 285-294. DOI: 10.7764/rcia.v44i3.1810
- Ríos-Ramírez S.C., J.R. Enríquez-del Valle, G. Rodríguez-Ortiz, J. Ruíz-Luna and V.A. Velasco-Velasco. 2018. *In vitro* formation of adventitious shoots on caulinary tissue of physiologically contrasting *Agave angustifolia* plants. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 30(1): 49-56. doi: 10.9755/ejfa.2018.v30.i1.1584
- Sánchez-Urbina, A., L.M.C. Ventura-Canseco, T. Ayora-Talavera, M. Abud Archila, M.A. Pérez-Farrera, L. Dendooven and F.A. Gutierrez-Miceli. 2008. Seed germination and *in vitro* propagation of *Agave grijalvensis* an endemic mexican species. *Asian Journal of Plant Sciences* 7(8): 752- 756.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/ETS 9.3 User's Guide. SAS Institute, Cary, NC. USA.
- Steiner A. A. 1984. The Universal nutrient solution. *In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless culture Lunteren.* Wageningen-The Netherlands. pp. 633- 650.
- Valenzuela Z. A. G. y D. R. González E. 1995. Fertilización del agave tequilero (*Agave tequilana* Weber) en la región de Tequila, Jalisco, México. *Terra* 13: 81-95.
- Valenzuela-Sánchez, K. K., R.E. Juárez-Hernández, A. Cruz-Hernández, V. Olalde-Portugal, M.E. Valverde y O. Paredes-López. 2006. Plant regeneration of *Agave tequilana* by indirect organogenesis. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 42(4): 336-340.
- Wander M. M., S. J. Traina, B. S. Stinner and S. E. Peters. 1994. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1130- 1138.
- Zhao, D., K- Raja-Reddy, V. Gopal-Kakani and V.R. Reddy. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *Europ. J. Agronomy* 22: 391- 403. Doi: 10.1016/j.eja.2014.06.005

**CONTENIDO DE CORTISOL Y CORTICOSTERONA EN PLASMA, SALIVA Y HECE DE TLACUACHES (*Didelphis virginiana*) MACHOS HABITANTES DE UNA LOCALIDAD SUBURBANA DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA.<sup>1</sup>**

**[LEVELS OF CORTISOL AND CORTICOSTERONE IN PLASMA, SALIVA, AND FECES OF MALE OPOSSUMS (*Didelphis virginiana*) INHABITANTS OF A SUBURBAN AREA IN THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA]**

Rosa María Gómez Ugalde<sup>1§</sup>, José Alfredo Martínez Lucero<sup>1</sup>, Eufonio Reyes López<sup>1</sup>, Arturo Salame-Méndez<sup>2</sup>, María Isabel Pérez León<sup>1</sup> y Rodolfo Benigno de los Santos Romero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C. P. 71230. Tel. 01 951 51 70 788. <sup>2</sup>Departamento de Biología de la Reproducción, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco # 186. Vicentina. Iztapalapa, CP 09340. Apdo. Postal 55-535. México, D. F. rmgomez80@hotmail.com; alfreedom85@gmail.com, asam@xanum.uam.mx, leonisa70@hotmail.com; rdelossr@hotmail.com. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (rmgomez80@hotmail.com).

**RESUMEN**

Los ambientes humanizados presentan diferentes desafíos para la vida silvestre sin embargo especies sinantrópicas como *Didelphis virginiana* parecen prosperar adecuadamente, desconociéndose como enfrenta fisiológicamente las condiciones creadas por el hombre. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar las concentraciones de cortisol y corticosterona en plasma, saliva y heces de machos de una población silvestre de *D. virginiana* que habita áreas suburbanas en relación con la estación del año (primavera-verano-otoño-invierno). Las muestras de plasma, saliva y heces de 17 individuos machos fueron analizadas con la técnica de inmunoensayo enzimático (EIA) y los valores obtenidos fueron comparados mediante estadística no paramétrica. Los resultados sugieren que *D. virginiana* es una especie cortisol dominante, que presenta variaciones estacionales no significativas en los tres sustratos analizados. La correlación positiva significativa entre las concentraciones de cortisol y corticosterona del plasma sugiere que las dos hormonas pueden estar mediando la respuesta al estrés. La existencia de una correlación negativa entre el cortisol plasmático y el cortisol en heces y el registro de individuos con una proporción cortisolcorticosterona menor a uno puede ser producto de procesos metabólicos propios de la especie que reflejan que el cortisol está siendo utilizado en mayor proporción que la corticosterona.

**Palabras clave:** Estrés, glucocorticoides, hormonas, marsupiales.

**ABSTRACT**

Humanized environments present different challenges for wildlife, however synanthropic species such as *Didelphis virginiana* seem to face them adequately, not knowing how physiologically the conditions created by man are faced. The physiological response of organisms that implies an increase in circulating glucocorticoid concentrations to

---

<sup>1</sup> Recibido: 20 de febrero de 2018.

Aceptado: 10 de diciembre de 2018

environmental changes can adversely affect population dynamics. Therefore, the objective of this research was to evaluate the cortisol and corticosterone concentrations in plasma, saliva, and feces of males from a wild population of *D. virginiana* that inhabits suburban areas in relation to the season of the year (spring-summer-autumn-winter). The samples of plasma, saliva, and feces of 17 male individuals were analyzed with the enzyme immunoassay (EIA) technique. The results obtained suggest that *D. virginiana* is a dominant cortisol species, which presents non-significant seasonal variations with a higher concentration of cortisol in the winter period. The cortisol and corticosterone concentrations detected in plasma suggest that the two hormones may be mediating the stress response. The use of feces as a non-invasive method in *D. virginiana*, requires information to identify the way in which these organisms are metabolizing the two hormones.

**Index words:** Stress, glucocorticoids, hormones, marsupials.

## INTRODUCCIÓN

La complejidad e importancia de la fisiología del estrés han sido reconocidas en diferentes taxones de mamíferos (Hing *et al.*, 2014), utilizando en su mayoría a especies en alguna categoría de riesgo como modelo de estudio. En general las especies que prosperan en los ecosistemas creados por el hombre han recibido menos atención, desconociéndose como se enfrentan fisiológicamente a estímulos estresantes, como la fragmentación de su hábitat, un clima alterado (Bateman y Fleming, 2012), presencia permanente de humanos, densidades más altas de depredadores no nativos (por ejemplo, gatos y perros), ruido, contaminación lumínica, tráfico (Partecke *et al.*, 2006). La evidencia sugiere que la vida silvestre que reside en áreas urbanas puede no exhibir los mismos rasgos de historia de vida que sus contrapartes rurales debido a la adaptación a las tensiones inducidas por el hombre (Ditchkoff *et al.*, 2006). Las respuestas fisiológicas de los organismos a los cambios ambientales pueden afectar adversamente la dinámica de la población y reducir la resistencia a las enfermedades (Davies *et al.*, 2013). En comparación con otros taxones, se sabe relativamente poco sobre la respuesta fisiológica al estrés en marsupiales en general y mucho menos de los marsupiales del continente americano (Hing *et al.*, 2014). *Didelphis virginiana*, una de las nueve especies de marsupiales con distribución en México (Ramírez-Pulido, 2014), es capaz de soportar cambios en su hábitat (Sunquist *et al.*, 1987; Markovchick-Nicholls *et al.*, 2007,) y prefiere áreas desarrolladas (Kanda *et al.*, 2006; Markovchick-Nicholls *et al.*, 2008), debido a su capacidad de explotar recursos antropogénicos (Clark, 1994; Beatty *et al.*, 2014).

En estudios recientes se sugiere que los ambientes humanizados han favorecido la expansión de *D. virginiana* hacia el norte de su rango geográfico (Beatty *et al.*, 2014; 2016), sin embargo, su necesidad de fuentes agua, la densidad de viviendas en entornos altamente urbanos (Fidino *et al.*, 2016) y el porcentaje del área urbanizada (Ordeñana *et al.*, 2010) pueden influenciar negativamente su distribución. Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar las concentraciones de cortisol y corticoesterona en plasma, saliva y heces de machos de una población silvestre de *D. virginiana* que habita áreas suburbanas en relación con la estación del año (primavera-verano-otoño-invierno) y condición reproductiva.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO; coordenadas extremas 17° 03' y, 16° 58' latitud norte y 96° 43' y 96° 48' de longitud oeste, a 1519 msnm). Las casi 40 ha del ITVO, se ubican en la agencia de policía de San Jesús de Nazareno, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Región de los Valles Centrales de Oaxaca a una distancia de 10 kilómetros de la capital del estado. San Jesús de Nazareno, colinda al norte y este con el área urbana de la cabecera municipal, al sur con el municipio de Cuilapam de Guerrero y al noroeste con la agencia de policía de San Francisco Javier. Fisiográficamente el área de estudio pertenece a la provincia de la Sierra Madre del Sur (INEGI, 2010). La superficie de San Jesús de Nazareno está irrigada en su mayor parte por el Río Nazareno, afluente de la Subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez, Cuenca del Río Atoyac, Región Costa Chica-Río Verde (Martínez-Ramírez *et al.*, 2004). En la zona de estudio prevalece un clima cálido seco con una temperatura media anual de 21°C, la precipitación anual varía de 561.4 a 733.7 mm; registrándose el periodo de lluvias de mayo a octubre; con frecuencia, en agosto se registra una sequía intraestival denominada localmente como 'canícula' (García, 1989). El tipo de suelo dominante es vertisol. La mayor parte de la vegetación nativa ha sido eliminada para el establecimiento de actividades agrícolas y pecuarias con presencia de pastizal inducido y pequeños remanentes de selva baja caducifolia. La densidad estimada de viviendas por hectárea en San Jesús de Nazareno es de 20 y el número de habitantes es de 1584 (INEGI, 2010) la cual se incrementa por población estudiantil ITVO que para el 2016 fue de 1340 alumnos, con actividades entre las 7:00 y las 19:00 h con una mayor presencia en el turno matutino (7:00 a 13:00 h).

### Captura de ejemplares

Durante la realización de este estudio no se sacrificaron organismos y se tomaron en cuenta las características de la especie, criterios éticos y la normatividad vigente en materia de vida silvestre (DOF, 2010), para lo cual se contó con el permiso de colecta correspondiente (SGPA/DGVS/03773/16).

Como método de colecta se utilizó captura en vivo con 20 trampas Tomahawk (30''X10''X12''), para mamíferos medianos, distribuidas al azar con una separación entre ellas de al menos 100 metros. Las trampas se cebaron con sardina y permanecieron activas de 7 pm a 6 am. Con el fin de reducir el estrés por captura las trampas se revisaron cada hora. Los organismos machos capturados fueron trasladados al sitio de obtención de muestras de heces, sangre y saliva. Cada ejemplar se categorizó en (a) no reproductivos y (b) reproductivos por la presencia o no de los testículos escrotados (Kunz *et al.*, 1996). Se procesaron un total de 17 organismos adultos de los cuales 10 fueron machos reproductivos (R) distribuidos en las cuatro estaciones del año en tanto que los individuos no reproductivos (NR) solo se capturaron en el otoño e invierno. Una vez realizado el procedimiento los organismos se liberaron en el sitio de captura. Solo se incluyeron en este estudio organismos a los cuales se les extrajo muestras de sangre, saliva y heces.

## Toma de muestras

**Sangre.** De cada individuo capturado se extrajo de la vena caudal 1.5 mL de sangre con jeringas de 3 mL y aguja de 25 mm x 21 o 23G según Morton *et al.* (1993). La muestra obtenida se transfirió a un tubo con anticoagulante BD Vacutainer K3 EDTA de 5mL. La sangre se centrifugó (C600 Solbat®) a 1000 rpm durante 10 min a temperatura ambiente para separar el paquete celular del plasma. El plasma se transfirió con ayuda de una pipeta Pasteur a tubos Eppendorf de 1.5 mL. Las muestras se etiquetaron con un código alfanumérico y se mantuvieron a -20°C hasta su análisis.

**Saliva.** La toma de la muestra de saliva se llevó a cabo de forma manual al momento de la extracción de sangre mediante aspiración con una pipeta de transferencia de la cavidad oral. La recolección de cada muestra no tomó más de dos minutos. La saliva obtenida se depositó en un tubo Eppendorf manteniéndose a -20°C hasta su análisis.

**Heces.** La colecta de muestras fecales se realizó inmediatamente después de su deposición y durante el proceso de contención para la extracción de sangre y saliva. Las heces que no se contaminaron con orina se colectaron en un frasco de polietileno o directamente del suelo inmediatamente después de ser evacuadas por los tlcuaches. Las muestras se rotularon con la identificación del individuo y fecha de colecta, y a cada tubo se les agregaron de 100 a 500 microlitros ( $\mu\text{L}$ ) de etanol al 96 % y se almacenaron a -20°C hasta su análisis.

**Extracción de hormonas fecales.** Cada muestra de heces una vez descongelada se llevó a peso seco a temperatura ambiente. Para reducir sesgos en las mediciones de glucocorticoides (GC) en muestras fecales pequeñas (Goymann, 2005; Millspaugh, y Washburn, 2004), solo se incluyeron en el estudio muestras con pesos secos superiores a 0.1 g. Las muestras de heces secas de peso conocido se colocaron en un tubo de ensayo con 1 mL de etanol al 90 % y se homogenizaron con vórtex por 10 segundos y se dejaron reposar por 24 horas. El sobrenadante se separó y se mantuvo a -20°C hasta la determinación de los GC.

**Determinación de GC.** La valoración de cortisol y corticosterona en plasma, saliva y heces se hizo por el método de enzimo-inmuno análisis (EIA por sus siglas en inglés) utilizando estuches (Diagnostic Systems Laboratories. Instruments GmbH, Division of DRG, Inc®. Frauenbergstr, Germany); la metodología se hizo siguiendo las instrucciones descritas por el fabricante. La concentración de cada hormona se hizo utilizando un lector de placas para ELISA (Microplate Reader, MR600 Stat Fax® 4200. Dynatech, Alexandria, VA, EE. UU.). Para cada ensayo hormonal se hizo una curva utilizando los estándares de cada estuche. La especificidad del antisuero para cortisol y corticosterona y la linealidad descrita por el fabricante en cada estuche se validaron mediante pruebas de concentraciones conocidas de cortisol y corticosterona (Sigma Chemical, St. Louis, MO, EE. UU.). El porcentaje de recuperación de cortisol (linealidad) fue de  $96 \pm 1.2$  y  $97 \pm 1.3$  para corticosterona. La reactividad cruzada del kit de cortisol fue del 100 % con cortisol y del  $45 \pm 0.7$  % para corticosterona. Por su parte, el kit de corticosterona fue del 100 % para corticosterona y  $0.3 \pm 0.2$  % para cortisol. La sensibilidad del ensayo (concentración mínima) para cortisol fue de  $2.5 \text{ ng mL}^{-1}$  y  $0.57 \text{ ng mL}^{-1}$  para corticosterona.

## Análisis estadístico

Los datos se agruparon por estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno) y estadio reproductivo (activos e inactivos). Las concentraciones de GC en el plasma, saliva y heces se presentan como media  $\pm$  error estándar (ES). Como los valores de GC no se distribuyeron normalmente, se utilizó un análisis no paramétrico. Las diferencias entre las concentraciones estacionales de cortisol y corticosterona se calcularon mediante la prueba de Kruskal-Wallis y para el análisis de correlaciones se utilizó la prueba Rho de Spearman. El análisis estadístico se realizó con el programa libre R (R Development Core Team, 2017)

## RESULTADOS

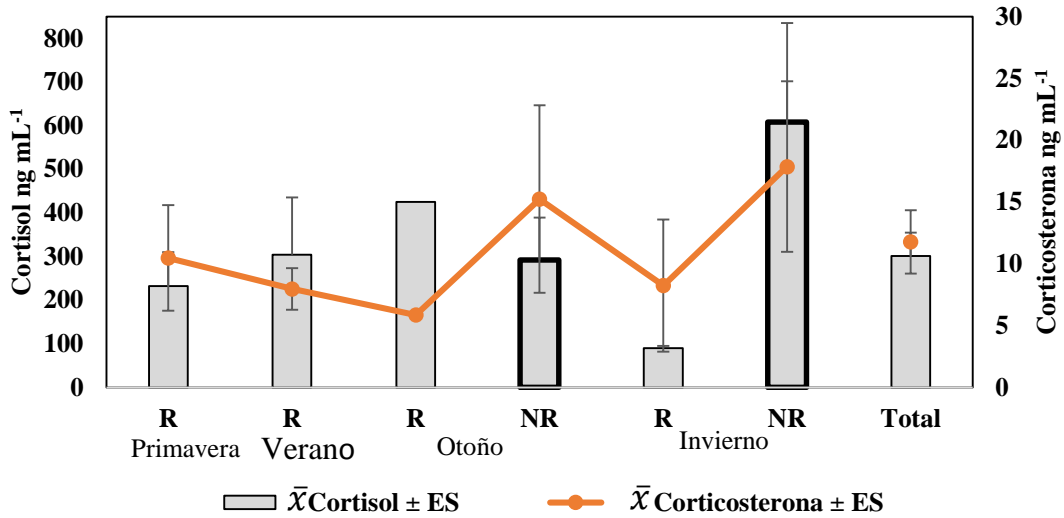
**Plasma.** La concentración promedio total de corticosterona (Co) y cortisol (Cort) en plasma (Pl) de machos de *Didelphis virginiana* ( $n = 17$ ) fue de  $11.761 \pm 2.560$  y  $301.3294 \pm 53.594$  ng mL<sup>-1</sup> respectivamente (Fig. 1). La mayor concentración plasmática promedio registrada de corticosterona ( $\bar{X}_{n=6} = 13.666 \pm 6.384$  ng mL<sup>-1</sup>) ocurrió en el otoño, observándose un valor cercano al registrado en el invierno ( $\bar{X}_{n=4} = 13.045 \pm 4.520$  ng mL<sup>-1</sup>). La mayor concentración promedio de cortisol ( $\bar{X}_{n=4} = 348.9 \pm 175.997$  ng mL<sup>-1</sup>) se registró en el periodo invernal. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones promedio obtenidas por temporada ( $H_{PICo(3,17)} = 0.542$   $p = 0.909$ ;  $H_{PICort(3,18)} = 0.229$   $p = 0.973$ ).

Al considerar el estado reproductivo de los individuos se registraron concentraciones promedio totales de corticosterona y cortisol más elevadas en los no reproductivos ( $\bar{X}_{PICoNR} = 15.978 \pm 5.465$  ng mL<sup>-1</sup>;  $\bar{X}_{PICortNR} = 382.414 \pm 101.762$  ng mL<sup>-1</sup>) debido a los valores obtenidos especialmente en el periodo invernal ( $\bar{X}_{PICoNR} = 17.855 \pm 6.899$  ng mL<sup>-1</sup>;  $\bar{X}_{PICortNR} = 608.05 \pm 226.950$  ng mL<sup>-1</sup>). Se observa que en los individuos reproductivos el cortisol se incrementa de primavera a otoño y disminuye en invierno ocurriendo lo contrario para la corticosterona (Figura 1). La prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas entre las concentraciones de corticosterona de individuos no reproductivos y reproductivos registrados en las cuatro estaciones del año ( $H_{PICo, 5 N=17} = 1.525$ ,  $p = 0.910$ ;  $H_{PICort} = 4.727$ ,  $p = 0.4501$ ).

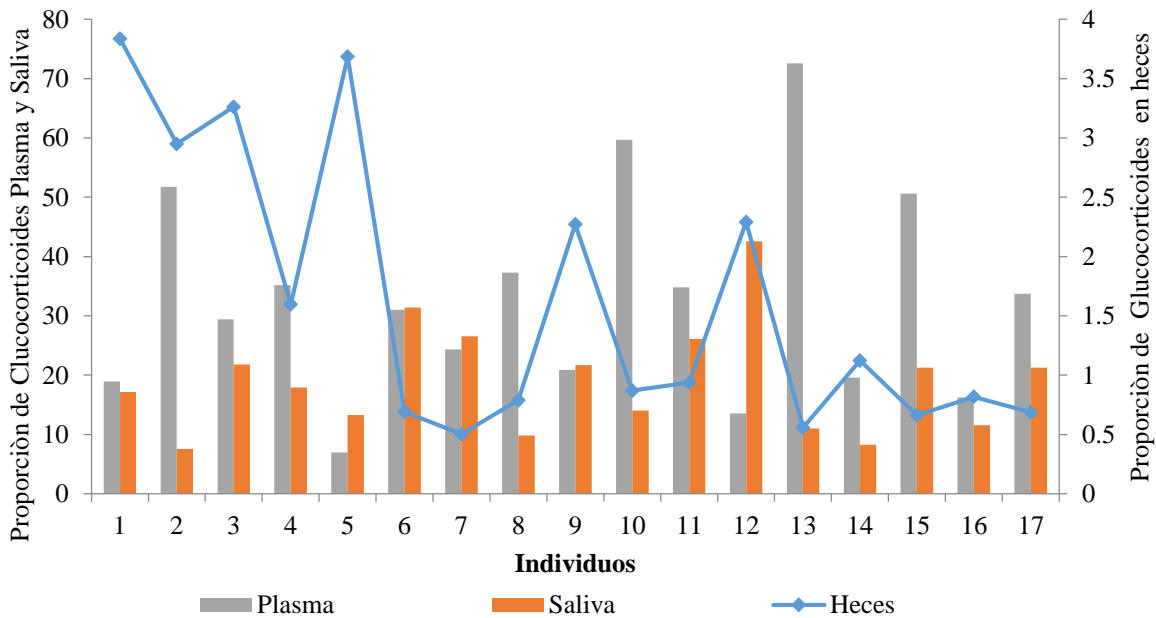
Los resultados obtenidos en plasma indican que esta especie secreta principalmente cortisol (proporción de glucocorticoides cortisol/corticosterona  $> 1$ ) con una relación media de glucocorticoides de  $32.735 \pm 4.252$  ng mL<sup>-1</sup>. Lo anterior se apoya en que todos los individuos analizados en este estudio secretaron principalmente cortisol expresando valores que oscila entre 6.983 y 72.586 (Figura 2). La correlación entre las concentraciones de cortisol y corticosterona existente en el plasma sanguíneo fue estadísticamente significativa ( $r = 0.797$   $p < 0.01$ ).

**Saliva.** La concentración promedio total de corticosterona y cortisol en muestras de saliva (Sa) de machos ( $n = 17$ ) de *D. virginiana* fue de  $2.107 \pm 0.224$  ng mL<sup>-1</sup> y  $33.812 \pm 2.133$  ng mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Registrándose la mayor concentración promedio de corticosterona en los individuos capturados durante el otoño ( $\bar{X} = 2.329 \pm 0.456$  ng mL<sup>-1</sup>). Las concentraciones promedio de cortisol de las cuatro estaciones del año fueron similares, disminuyendo en los organismos activos sexualmente en otoño (Figura 3), con una concentración promedio más elevada en la primavera ( $\bar{X} = 35.8 \pm 7.913$  ng mL<sup>-1</sup>).

Los resultados obtenidos en saliva como proporción de glucocorticoides mostro el mismo comportamiento que en plasma con una relación cortisol/corticosterona > 1 con un promedio de glucocorticoides de  $19.005 \pm 2.232$ , sin embargo, los valores fueron más bajos oscilando entre 7.542 y 42.573 (Figura 2).

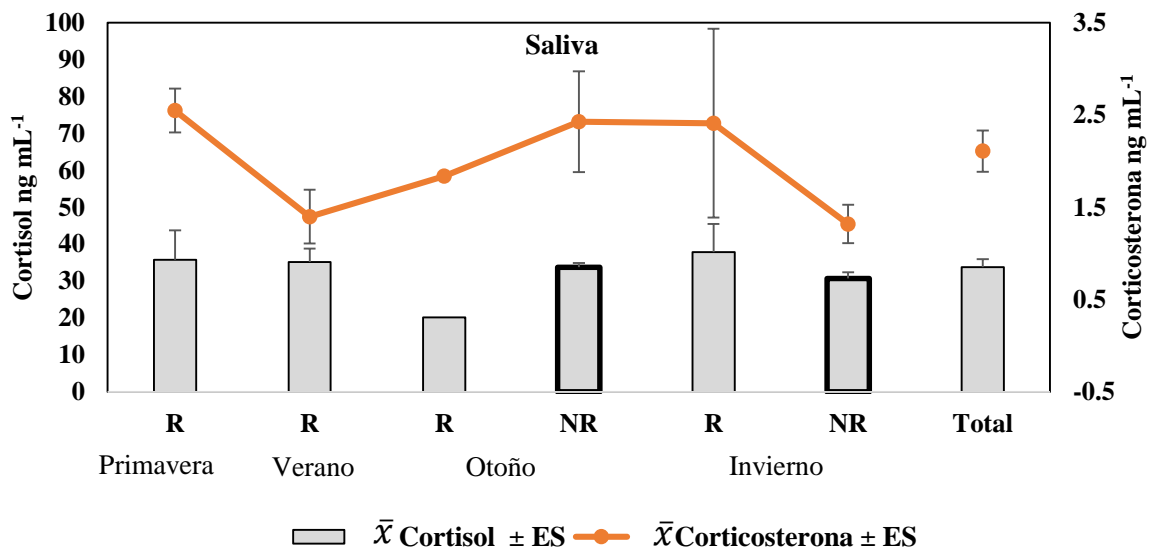


**Figura 1.** Concentración estacional de corticosterona y cortisol en plasma de machos de *Didelphis virginiana* en cada condición reproductiva (R = machos reproductores, NR Machos no reproductivos); las líneas verticales sobres las barras y en las líneas representan el error estándar.



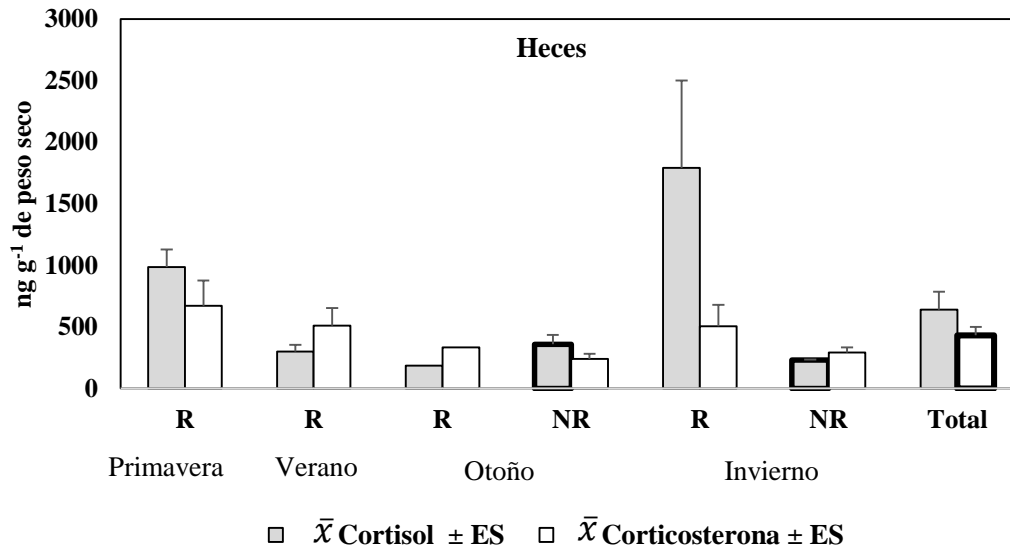
**Figura 2.** Proporción de glucocorticoides en plasma, saliva y heces por individuo de *Didelphis virginiana* machos adultos.

Al analizar el efecto de la condición reproductiva las concentraciones de cortisol y corticosterona promedio total en saliva de machos reproductores son similares a las que exhiben los individuos no reproductivos ( $\bar{X}_{\text{SaCoR}} = 2.1044 \pm 0.254 \text{ ng mL}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{\text{SaCoNR}} = 2.110 \pm 0.431 \text{ ng mL}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{\text{SaCortR}} = 34.47 \pm 3.624 \text{ ng mL}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{\text{SaCortNR}} = 32.871 \pm 1.032 \text{ ng mL}^{-1}$ ). Resaltando que en los machos reproductivos la concentración de cortisol disminuyó en otoño. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones promedio de cortisol y corticosterona obtenidas tanto entre estaciones ( $H_{\text{SaCo}(3,17)} = 4.452 p = 0.217$ ;  $H_{\text{SaCort}(3,17)} = 0.176 p = 0.981$ ), como entre lo observado en organismos reproductores y no reproductivos entre estaciones ( $H_{\text{SaCo}(5,17)} = 6.153 p = 0.291$ ;  $H_{\text{SaCort}(5, N=17)} = 2.792 p = 0.732$ ).



**Figura 3.** Concentración estacional de corticosterona y cortisol en saliva de machos de *Didelphis virginiana* en cada condición reproductiva (R = machos reproductores, NR = machos no reproductivos); las líneas verticales sobre las barras y en las líneas representan el error estándar.

**Heces.** La concentración de corticosterona y cortisol en heces (F) varió de 118.152 ng g<sup>-1</sup> y 831.00 ng g<sup>-1</sup> y entre 145.113 ng g<sup>-1</sup> y 2500.816 ng g<sup>-1</sup>, respectivamente, con un valor promedio para corticosterona de  $400.126 \pm 46.8055 \text{ ng g}^{-1}$  y de cortisol de  $553.198 \pm 135.037 \text{ ng g}^{-1}$ . La mayor concentración promedio de corticosterona ( $\bar{X}_{\text{FCo}} = 511.785 \pm 119.325 \text{ ng g}^{-1}$ ) y de cortisol ( $\bar{X}_{\text{FCort}} = 1111.728 \pm 535.529 \text{ ng g}^{-1}$ ) ocurrió en la primavera y en el invierno respectivamente (Figura 4). Las diferencias observadas entre las concentraciones de las cuatro estaciones del año no resultaron estadísticamente diferentes ( $H_{\text{FCo}(3,17)} = 0.542 p = 0.909$ ;  $H_{\text{FCort}(3,17)} = 5.375 p = 0.1463$ ). La mayor concentración de corticosterona y cortisol en heces se registró en individuos activos reproductivamente de la primavera y del periodo invernal respectivamente sin llegar a ser estadísticamente significativa ( $H_{\text{FCo}(5,17)} = 13.384 p = 0.020$ ; Figura 3).



**Figura 4.** Concentración estacional de corticosterona y cortisol en heces de machos de *Didelphis virginiana* en cada condición reproductiva (R = machos reproductivos, NR = machos no reproductivos); las líneas verticales sobres las barras y en las líneas representan el error estándar.

La proporción promedio de glucocorticoides cortisol/corticosterona registrada en heces fue mayor a uno, con una relación media de glucocorticoides de  $1.619 \pm 0.285$ , sin embargo, individualmente se registraron organismos con valores menores a uno por lo que la relación cortisol/corticosterona osciló entre 0.502 y 3.837 (Figura 2).

La correlación múltiple entre las concentraciones de corticosterona y cortisol existente en plasma, saliva y heces refleja una relación negativa estadísticamente significativa entre las concentraciones de PICort y FCort ( $r = -0.519$ ;  $p = 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

La determinación de concentraciones de GC en plasma y saliva son adecuadas para estudiar respuestas de estrés agudas o de corto plazo (Nemeth *et al.*, 2106); sin embargo, el estrés durante los procedimientos de captura y toma de muestra en *D. virginiana* incrementa los niveles basales (Cook, 2000). A pesar de lo anterior, su medición nos permite saber la carga fisiológica de estrés presente (Goymann, 2005), también denominada carga alostática (Wingfield *et al.*, 1998; Goymann y Wingfield, 2004). Las concentraciones de GC detectadas no reflejaron diferencias estadísticas relacionadas con la estación del año y el estado reproductivo en los tres sustratos analizados, sugiriendo que a lo largo del año los estímulos estresantes aparentemente no provocan una respuesta diferencial. Si consideramos que en el invierno los organismos tienen que hacer frente a la reproducción, bajas temperaturas y una menor cantidad de recursos, se esperaría que se produjeran niveles más elevados de GC a los registrados en la primavera o verano, lo cual ocurre sin llegar a ser estadísticamente diferentes. Es probable que la intensidad de la respuesta a los factores estresantes no sea tan elevada debido a las condiciones de un hábitat suburbano en comparación a lo que ocurriría en ambientes prístinos, donde los recursos alimenticios presentan una marcada variación

estacional, así como estar más alertas a la presencia de predadores y en la búsqueda y defensa de territorios.

Especies sinantrópicas como *D. virginiana*, pueden sobrevivir en ambientes suburbanos (Bateman y Fleming, 2012), como el existente en el área de estudio debido a su capacidad de explotar la basura, cultivos de melón, sandía, maíz y otros granos (Clark, 1994; Beatty *et al.*, 2014), que tienen a su disposición. Los recursos antropogénicos existentes le permiten soportar el frío invernal y la falta de alimentos naturales (Kanda, 2005), que, si bien se reducen en el invierno, debido a los ciclos de cultivo, el periodo vacacional decembrino y el receso intersemestral de la población estudiantil del ITVO, aparentemente no se ve reflejado en una variación significativa en la secreción de GC.

La variación en la magnitud de la secreción de glucocorticoides entre individuos analizados puede indicar una respuesta diferencial ante un factor estresante; donde algunos animales exhiben poca o ninguna respuesta mientras que, en otros, la respuesta es mayor (Cockrem, 2013). Lo anterior pueden atribuirse a las variaciones individuales en la actividad suprarrenal, influenciada por cómo perciben los individuos su medio ambiente, por ejemplo, experiencias previas, variaciones en la temperatura ambiental, disponibilidad de alimentos y depredación, que en conjunto pueden desencadenar fluctuaciones en la tasa metabólica de los animales en vida libre (Goymann, 2012). El beneficio obtenido por los tlacuaches en ambientes urbanizados (disponibilidad de alimento) puede compensar el riesgo de depredación (perros y gatos) y la constante presencia humana a largo plazo (respuesta al estrés crónico), reflejando una plasticidad en la respuesta individual dependiente del beneficio obtenido en su adecuación biológica (Bonstra, 2013). En este sentido los factores que conducen a la variación individual observada y la medida en que esta variación es adaptativa o no adaptativa son poco conocidos en la mayoría de los animales (Cockrem, 2013).

La correlación positiva entre PLCort y PICo indica que ambas hormonas pueden estar mediando la respuesta a las condiciones de estrés y/o requerimientos durante la reproducción (Koren *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos en *D. virginiana* sustentan al cortisol como el GC “dominante”, con una amplia variación en la relación promedio de cortisol-corticosterona similar a la reportada por Koren *et al.* (2012) en diferentes especies de mamíferos.

Las hormonas fecales representan una medida promedio integrada (según el tiempo de tránsito intestinal: Palme *et al.*, 2005; Touma y Palme, 2005), en tanto que las concentraciones plasmáticas reflejan un instante en la vida del organismo (Goymann, 2005) por lo que las correlaciones entre las concentraciones de glucocorticoides de plasma y heces observables pueden ser bajas o inexistentes (Goymann, 2005). Las concentraciones de FCort menores o muy cercanas a las concentraciones de FCo (proporción de FGC menores a uno) y la correlación negativa observada entre PICort y FCort sugiere que a mayor PICort circulante existe una menor excreción de cortisol. Lo anterior puede ser producto de procesos metabólicos propios de la especie que reflejan que el cortisol está siendo utilizado en mayor proporción que la corticosterona.

A pesar de que existieron organismos (no incluidos) que no presentaron secreción salival, la obtención de saliva en *D. virginiana* es menos traumática y se llega a obtener en menor

tiempo en comparación con las muestras de plasma, lo que puede facilitar la recolección en investigaciones que requieren muestreos frecuentes y por tanto ser menos invasivo. Sin embargo, para decidir si en esta especie el cortisol salival es una mejor medida de la función cortical suprarrenal que el cortisol plasmático es necesario explorar la importancia de la variabilidad registrada (Fenske, 1997), considerando un mayor tamaño de muestra y la respuesta del organismo al manejo.

## CONCLUSIONES

En el presente estudio, la metodología utilizada permitió detectar el cortisol y corticosterona en plasma, saliva y heces de machos de *Didelphis virginiana* tanto activos como inactivos reproductivamente, representa el primer acercamiento con metodologías invasivas y no invasivas en el estudio del estrés fisiológico en esta especie. La secreción de cortisol y corticosterona de los tlacuaches machos en la zona de estudio *D. virginiana* parece no verse influenciada de forma significativa por las estaciones del año y la condición reproductiva. *D. virginiana* se puede considerar una especie cortisol dominante; sin embargo, la proporción de glucocorticoides menor a uno registrada en las heces de algunos individuos refleja procesos metabólicos propios de la especie que plantean la necesidad de abordar su estudio a mayor profundidad antes de ser utilizadas como método no invasivo en esta especie.

## LITERATURA CITADA

- Bateman, P. W. and P. A. Fleming. 2012. Big city life: carnivores in urban environments. *Journal of Zoology* 287:1-23.
- Beatty, W. S., J. C. Beasley and O. E. Rhodes. 2014. Habitat selection by a generalist mesopredator near its historical range boundary. *Canadian Journal of Zoology* 92(1): 41-48.
- Beatty, W. S., J. C. Beasley, Z. H. Olson and O. E. Rhodes. 2016. Influence of habitat attributes on density of Virginia opossums (*Didelphis virginiana*) in agricultural ecosystems *Canadian Journal of Zoology*, 94(6):411-419.
- Bonstra, R. 2013. The ecology of stress: Reality as the leading cause of stress: rethinking the impact of chronic stress in nature. *Functional Ecology*, 27:11-23.
- Clark, K. D. 1994. Managing raccoons, skunks, and opossums in urban settings. *Proceedings of the Sixteenth Vertebrate Pest Conference* 10:317-319.
- Cockrem, J. F. 2013. Individual variation in glucocorticoid stress responses in animals. *General and Comparative Endocrinology* 181:45-58.
- Cook, C.J., D. J. Mellor, P. J. Harris, J. R. Ingram and L. R. Matthews, 2000. Hands-on and hands-off measurement of stress. *In: Moberg, G.P., and J. A. Mench (eds.). The Biology of Animal Stress. Basic Principles and Implications for Animal Welfare* CABI Publishing, New York, pp. 123-146.
- Davies, N., A. Gillett, C. McAlpine, L. Seabrook, G. Baxter, D. Lunney and A. Bradley. 2013. The effect of ACTH upon faecal glucocorticoid excretion in the koala. *Journal of Endocrinology* 219:1-12.
- Ditchkoff, S. S., S. T. Saalfeld and C. J. Gibson. 2006. Animal behavior in urban ecosystems: Modifications due to human-induced stress. *Urban Ecosystems* 9: 5-12.
- DOF (Diario oficial de la Federación). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna

- silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-  
Lista de especies en riesgo.
- Fenske, M. 1997. The use of salivary cortisol measurements for the non-invasive assessment of adrenal cortical function in guinea pigs. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes* 105(1997): 163-168.
- Fidino, M. A., E. W. Lehrer and S. B. Magle. 2016. Habitat Dynamics of the Virginia Opossum in a Highly Urban Landscape. *The American Midland Naturalist* 175(2):155-167.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), 4ª. ed. Ed. Instituto de Geografía-UNAM, México.
- Goymann, W. 2005. Noninvasive monitoring of hormones in bird droppings-physiological validation, sampling, extraction, sex differences, and the influence of diet on hormone metabolite levels in Bird hormones and bird migrations: analyzing hormones in droppings and egg yolks and assessing adaptations in long-distance migration. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1046: 35-53.
- Goyman, W. 2012. On the use of non-invasive hormone research in uncontrolled, natural environments: the problem with sex, diet, metabolic rate and the individual. *Methods in Ecology and Evolution* 3:757-765.
- Goymann, W. and J. C. Wingfield. 2004. Allostatic load, social status and stress hormones: the costs of social status matter. *Animal and Behavior* 67: 591-602.
- Goymann, W. 2012. On the use of non-invasive hormone research in uncontrolled, natural environments: the problem with sex, diet, metabolic rate and the individual. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 757-765.
- Hing, S., E. Narayan, R. C. A. Thompson and S. Godfrey. 2014. A review of factors influencing the stress response in Australian marsupials. *Conservation Physiology* 2:1-17.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). 2010. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.
- Kanda, L. L. 2005. Winter energetics of Virginia opossums *Didelphis virginiana* and implications for the species' northern distributional limit. *Ecography* 28: 731-744.
- Kanda, L.L, T. K. Fuller and P. R. Sievert. 2006. Landscape Associations of Road-killed Virginia Opossums (*Didelphis virginiana*) in Central Massachusetts. *The American Midland Naturalist* 156(1):128-134.
- Koren, L., D. Whiteside, Å. Fahlman, K. Ruckstuhl, S. Kutz, S. Checkley, M. Dumond and K. Wynne-Edwards. 2012. Cortisol and corticosterone independence in cortisol-dominant wildlife. *General and Comparative Endocrinology* 177: 113-119.
- Kunz, T. H., C. Wemmer and V. Hayssen. 1996. Sex, age, and reproduction. *In*: E. Wilson, F. C. Russell, D. J. Nichols, R. Rasanayagam and M. S. Foster (eds). *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Mammals*. Smithsonian Institution Press. Washington and London. USA. 279 -290 pp.
- Markovchick-Nicholls, L., H. M. Regan, D. H. Deutschman, A. Widyanata, B. Martin, L. Noreke, and T. A. Hunt. 2007. Relationships between human Disturbance and Wildlife Land Use in Urban Habitat Fragments. *Conservation Biology* 22: 99-109.
- Martínez-Ramírez, E., I. Doadrio-Villarejo, y A. De Sostoa-Fernández. 2004. Peces continentales. Biodiversidad de Oaxaca. (A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez, and M. Briones-Salas, eds.). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la naturaleza-Worlf Wildlife Foundation. México.

- Millspaugh, J. and B. E. Washburn. 2004. Use of fecal glucocorticoid metabolite measures in conservation biology research: considerations for application and interpretation. *General and Comparative Endocrinology* 138: 189-199.
- Morton, D. B., D. Abbot, R. Barclay, B. S. Close, R. Ewbank, D. Gask, M. Heath, S. Mattic, T. Poole, J. Seamer, J. Southee, A. Thompson, B. Trussel, C. West and M. Jennings. 1993. Extracción de Sangre en los Mamíferos y Aves de Laboratorio. *Laboratory Animals* 27: 1-22.
- Nemeth, M., E. Pschernig, B. Wallner and E. Millesi. 2016. Non-invasive cortisol measurements as indicators of physiological stress responses in guinea pigs. *PeerJ* 4: 1-21.
- Ordeñana, M. A., K. R. Crooks, E. E. Boydston, R. N. Fisher, L. M. Lyren, S. Siudyla, C. D. Haas, S. Harris, S. A. Hathaway, G. M. Turschak, A. K. Miles and D. H. Van Vuren. 2010. Effects of urbanization on carnivore species distribution and richness. *Journal of Mammalogy* 91(6):1322-1331.
- Palme, R. 2005. Measuring Fecal Steroids Guidelines for Practical Application. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1046: 75-80.
- Partecke, J, I. Schwabl and F. Gwinner. 2006. Stress and the city: Urbanization and its effects on the stress physiology in European blackbirds. *Ecology* 87: 1945-1952.
- R Development Core Team. 2017. Contributed Packages. <https://www.r-project.org/> (Consultado: 15/12/2017).
- Ramírez-Pulido, J., N. González-Ruiz, A. L. Gardner, and J. Arroyo-Cabrales. 2014. List of Recent Land Mammals of Mexico 2014. Special Publications Museum of Texas Tech University 63: 1-76.
- Sunquist, M. E., S. N. Austad and F. Sunquist. 1987. Movement patterns and home range in the common opossum (*Didelphis marsupialis*). *Journal of Mammalogy* 68: 173-176.
- Touma, C. and R. Palme. 2005. Measuring Fecal Glucocorticoid Metabolites in Mammals and Birds: The Importance of Validation. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1046: 54-74.
- Wingfield, J. C., D. L. Maney, C. W. Breuner, J. D. Jacobs, S. Lynn, M. Ramenofsky and R. D. Richardson. 1998. Ecological bases of hormone-behavior interactions: the “emergency life history stage”. *American Zoology* 38: 191-206.

**CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DE LA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)  
CULTIVADA EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA<sup>1</sup>**

**[GENETIC CHARACTERIZATION OF THE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)  
CULTIVATED IN THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA]**

**Rodolfo Benigno de los Santos-Romero<sup>1</sup>, María Isabel Pérez-León<sup>1§</sup>, Héctor Maximino Rodríguez-Magadan<sup>2</sup>,  
Ivonne Caballero-Sánchez<sup>3</sup>, Jacobo Montes-Yedra<sup>1</sup>, Rosa María Gómez-Ugalde<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, campus Valle de Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C.P. 71233. <sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, C.P. 68000. <sup>3</sup>Estudiante. Tecnológico Nacional de México, campus Valle de Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C.P. 71230. <sup>§</sup>Autor para correspondencia:(leonisa70@hotmail.com).

**RESUMEN**

Se presentan avances del monitoreo genético de tilapia *Oreochromis niloticus* cultivada en los Valles Centrales de Oaxaca, información fundamental para implementar programas de cría selectiva comercial. El objetivo es mejorar la producción de tilapia reconociendo el porte genético de variedades de crecimiento rápido, con altos índices de conversión alimenticia y resistente a enfermedades. Las técnicas utilizadas en el estudio fueron los marcadores RAPD que son los más empleados en acuicultura debido a su simplicidad, rapidez y costo relativamente bajo. De los resultados, los productores acuícolas de los Valles Centrales de Oaxaca trabajan principalmente con tres líneas o variedades de tilapia cultivadas: GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapia), híbrida Spring y GTM (genetically male tilapia), cada una de las líneas presentan similitud entre la cantidad y calidad de ADN. La similitud del fenotipo de las tilapias, que es la respuesta del genotipo y de las adaptaciones que cada una de las líneas presente ante su medio ambiente, indican que las variaciones en las diferentes líneas de tilapia que se cultivan en Oaxaca son multifactoriales.

**Palabras clave:** Acuicultura, ADN, electroforesis.

**ABSTRACT**

Advances in the genetic monitoring of tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in the Central Valleys of Oaxaca are presented, fundamental information for the implementation of commercial selective breeding programs, which aims at genetic improvement and the production of fast-growing fish, with better food conversion indexes and disease resistant. The techniques used in the study were the RAPD markers that are the most used in aquaculture due to its simplicity, speed and relatively low cost. From the results, the aquaculture producers of the Central Valleys of Oaxaca work mainly with three lines or varieties of cultivated tilapia: GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapia), hybridized Spring and GTM (genetically male tilapia), each of the lines show similarity between the quantity and quality of DNA. The similarity of the tilapia phenotype, which is the response of the genotype and of the adaptations that each of the lines present to their

---

<sup>1</sup> Recibido: 1 de agosto de 2018.

Aceptado: 10 de diciembre de 2018.

environment, indicate that the variations in the different tilapia lines that are cultivated in Oaxaca are multifactorial.

**Index words:** Aquaculture, DNA, electrophoresis.

## INTRODUCCIÓN

Tilapia es el nombre común de aproximadamente 70 especies de peces clasificadas de la familia Cichlidae (Fitzsimmons, 2000). Las tilapias fueron introducidas en México con el propósito de incrementar la disponibilidad de alimentos básicos de bajo costo, de alta cantidad y calidad de proteína y bajos en grasa saturadas (Morales, 1991). Después de su aclimatación en los lugares de siembra, estas especies de tilapia se han extendido ampliamente a través de los embalses de agua naturales y artificiales en las regiones tropicales y templadas de México (Vega-Villasante *et al.*, 2010). Sin embargo, después de su expansión estas pesquerías y cultivos acuícolas de tilapia se enfrentó a una drástica disminución de la producción debido a la sobreexplotación (Jiménez-Badillo, 1999) y sobre todo a problemas genéticos como la endogamia lo que empezó a provocar problemas de tipo morfológico, bajos niveles de producción, problemas con las crías en la reproducción y sobre todo una disminución en la estética de mercado.

Uno de los principales motivos que sustentan los problemas genéticos con la tilapia dentro de las pesquerías o la acuicultura son los pocos registros que demuestren cuáles especies y variedades fueron introducidas en cada uno de los embalses o unidades de producción que se destinan a la acuicultura. Para mantener la variabilidad de las poblaciones de peces y para fomentar el desarrollo del ordenamiento pesquero y acuícola, es esencial monitorear la diversidad de los stocks genéticos (Bentzen & Thodesen, 2005; Haughton *et al.*, 2006).

El monitoreo genético de lotes de tilapia en la acuicultura representa información de gran importancia para conseguir mejoras en la producción y en la conservación de peces (Feng *et al.*, 2007). Es primordial, pues la variabilidad genética es fundamental para la implantación de programas de cría selectiva comercial, con peces de crecimiento rápido, mejores índices de conversión alimentaria y resistentes a enfermedades (Melo *et al.*, 2006).

Los estudios centrados en la genética de poblaciones permiten conocer la variación genética de la tilapia que se mantienen bajo un esquema de cultivo o en estado silvestre, con estos datos, se puede comprender mejor como se ha distribuido la especie desde su centro de origen y se pueden generar paquetes de manejo de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes. Por lo anterior, para obtener una perspectiva de la variación existente entre dos o más líneas de tilapia cultivadas en unidades de producción acuícola en los Valles Centrales de Oaxaca, se necesita caracterizar la variación genética de varias unidades en donde se cultivan distintas líneas de tilapia con un origen incierto. Por lo que el objetivo del presente trabajo es caracterizar el porte genético mediante la calidad y cantidad de ADN de las líneas mejoradas, revertidas y no hormonadas de tilapias *Oreochromis niloticus* L. (Cichlidae), cultivadas por productores acuícolas de los Valles Centrales de Oaxaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el Laboratorio de Limnología y Acuicultura del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca se recibieron los ejemplares adultos vivos de tilapia del Nilo con un tamaño entre 20 y 22 cm organismos provenientes de las siguientes Unidades de Producción Acuícola (UPA): Granja Capitán Mojarra, municipio de San Francisco Lachigolo distrito de Tlacolula, Oax.; Granja Duu-

Va, municipio de San Juan Evangelista Analco distrito de Ixtlán; Granja La Chilana; municipio de San José del Progreso, distrito de Ocotlán y Granja el Danzante, municipio de Cuilapan de Guerrero, Distrito de Zaachila. Durante los primeros días de llevó a cabo el mantenimiento de las tilapias para su aclimatación en contenedores de 100 litros con aireación continua y control de temperatura. Tres días posteriores a su aclimatación en un área bajo condiciones asépticas y utilizando equipo de disección estéril se tomaron las muestras de musculo a la altura del pedúnculo caudal para los estudios genéticos de las seis variedades con cuatro repeticiones. La muestra fue colocada en un tubo estéril de polipropileno de 15 mL, etiquetados con datos de la especie, fecha, granja, línea genética y número de muestra. Posteriormente las muestras se mantuvieron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

En el laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca para la extracción de DNA se utilizó el Wizard Genomic DNA Purification Kit de Promega. Se pesó una cantidad de 10 a 20 mg. por cada una de las 28 muestras de tejido de tilapia y se colocaron en tubos eppendorf estériles, a cada tubo se le agregó 500  $\mu\text{L}$  de solución de lisis de núcleo, 120  $\mu\text{L}$  de EDTA y 10  $\mu\text{L}$  de Proteinasa K, las muestras se homogenizaron lo suficiente manualmente con homogeneizadores esteriles (uno por cada muestra) y los tubos se agitaron de 2 a 5 veces.

Para la ampliación por PCR las muestras se incubaron a  $55^{\circ}\text{C}$  por 3 horas. A cada tubo Eppendorf se añadió 3  $\mu\text{L}$  de solución de RNAsa agitando seguidamente de 2 a 5 veces y se llevaron a incubar a  $37^{\circ}\text{C}$  por media hora. Se le adicionó 200  $\mu\text{L}$  de solución de precipitación de proteína y las muestras fueron llevadas a refrigeración por 5 minutos. Posteriormente las muestras fueron centrifugadas a 14000 g. por 5 minutos. El sobrenadante de cada tubo fue recuperado transfiriéndolo a un nuevo tubo Eppendorf al cual previamente se le agregaron 600  $\mu\text{L}$  de isopropanol, posteriormente se llevó a centrifugar a 14000 g. por 5 minutos y se retiró totalmente todo el sobrenadante. En seguida se adiciono 600  $\mu\text{L}$  de etanol al 70% a cada tubo, agitando varias veces y se centrifugó nuevamente a 14000 g por 5 minutos. El sobrenadante fue retirado totalmente y los tubos fueron secados de forma invertida sobre papel absorbente limpio dejándolo secar de 10 a 15 min y finalizando el secado con una incubación a  $55^{\circ}\text{C}$  por 3 minutos. Posterior a la incubación se adicionó a cada tubo 100  $\mu\text{L}$  de solución de rehidratación pipeteando varias veces para tratar de despegar la pastilla de ADN del fondo del tubo y se incubo a  $55^{\circ}\text{C}$  por 1 hora con motivo de rehidratar lo suficiente al DNA. Finalmente, las muestras de DNA se etiquetaron y almacenaron a  $-4^{\circ}\text{C}$ .

Al concluir la extracción y amplificación del ADN, se realizó una corrida de electroforesis para determinar la integridad de cada una de las muestras. Se preparó gel de agarosa al 1%. Se pesó 2 g. de agarosa y se disolvió en 200 mL. de buffer de corrida TAE 1% en un matraz de 250 mL. llevándose al horno de microondas por 2 minutos para su total disolución. Se dejó enfriar por tiempo suficiente, mientras, se preparó el molde para el gel, y se llenó la cámara de electroforesis con buffer TAE 1%. La agarosa necesaria fue colocada dentro del molde y se dejó solidificar por un tiempo. El gel fue puesto dentro de la cámara de electroforesis y cada pozo fue llenado con: 0.5  $\mu\text{L}$  de colorante Orange 6x; 0.5  $\mu\text{L}$  de SYBR Green; y 3  $\mu\text{L}$  de muestra DNA. Las muestras fueron corridas a 100 voltios por 20 minutos y los resultados se visualizaron mediante una cámara de foto-revelado con luz UV.

La cuantificación de cada una de las muestras extraídas se realizó después de la verificación de presencia de ADN en la corrida de electroforesis. Para ello, se utilizó un espectrofotómetro NANO DROP LITE de TERMO SCIENTIFIC. Para iniciar la cuantificación de las muestras, se colocó primera mente un 1µL de agua inyectable como muestra blanco sobre el pedestal inferior y se procedió a calibrar el equipo para dar lectura a las muestras. De la misma forma se tomó 1µL de ADN y se colocó sobre el pedestal inferior del equipo, este se cerró y se dio lectura de la concentración de ADN y de la pureza del mismo, para evitar errores se realizaron 3 lecturas por cada muestra (se limpió el pedestal inferior y superior con una toalla de papel por cada lectura). Los resultados de lectura se mostraron en la pantalla del equipo.

## RESULTADOS

En ocho UPAs que cultivan la tilapia en los Valles Centrales de Oaxaca se identificaron las siguientes variedades de *Oreochromis niloticus*: variedad híbrida Spring revertida hormonalmente proveniente de la granja Tilpan, Tuxtepec, Oaxaca; variedad mejorada Nilotica GIFT (1) revertida hormonalmente proveniente de la empresa Tilasur, Veracruz; variedad mejorada Nilotica GTM revertida genéticamente, de la granja Dos pececitos, Puerto Escondido, Oax.; variedad híbrida Rocky Mountain revertida hormonalmente, variedad mejorada Nilotica GIFT (2) revertida hormonalmente y nilotica nativa no revertida, las tres variedades provenientes del Centro Reproductor Jalapa del Marqués (SEDAPA), Santa María Jalapa del Marqués, Oax.

En la Figura 1 se muestra el foto-revelado de los productos de electroforesis de la presencia e integridad de DNA para cada una de las variedades de tilapia, a través de bandas pigmentadas se observan pequeñas variaciones en la concentración de material genético.

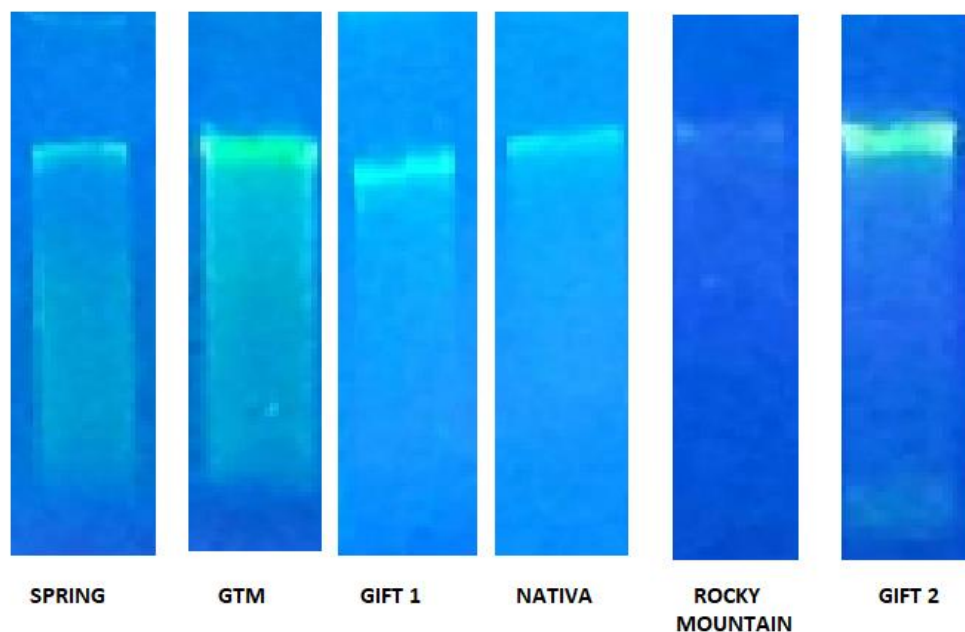


Figura 1. Bandas de electroforesis muestran la presencia e integridad de ADN en las seis variedades de tilapia

En el cuadro 1 se presenta el promedio de la cantidad y pureza del ADN para cada una de las seis variedades de Tilapia, presentando rangos de Pureza de ADN de 1.64 a 1.84, y cantidades de ADN entre 15.93 a 39.77.

**Cuadro 1. Cantidad y pureza del ADN de cada una de las seis variedades de tilapia. Se presenta el valor medio y su desviación estándar ( $\pm$  DE)**

Línea genética de <i>O. niloticus</i>	Pureza Abs 260/A280 nm	Cuantificación [ng mL <sup>-1</sup> ]
SPRING	1.84 $\pm$ 0.077	39.77 $\pm$ 13.38
GTM	1.81 $\pm$ 0.059	34.17 $\pm$ 15.74
GIFT 1	1.78 $\pm$ 0.076	29.19 $\pm$ 16.49
GIFT 2	1.70 $\pm$ 0.092	29.26 $\pm$ 16.45
ROCKY MOUNTAIN	1.67 $\pm$ 0.101	20.25 $\pm$ 1.82
NATIVA	1.64 $\pm$ 0.061	15.93 $\pm$ 8.20

## DISCUSIÓN

El uso de marcadores moleculares como el RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) utilizados en el presente proyecto, permiten reconocer el potencial genético de la tilapia que se cultiva en los Valles Centrales de Oaxaca, así como en cualquier pez, de una comunidad o una población sea determinada con mayor precisión, antes de la expresión de su fenotipo (Liu y Cordes, 2004). De este modo se puede estimar la diversidad genética, necesaria para estudiar prácticas de manejo y conservación de peces, inclusive para aquellas especies en riesgo de extinción (Lopera-Barrero *et al.*, 2006; Feng *et al.*, 2007).

Al comparar los valores resultantes de la cuantificación de DNA de cada muestra con los resultados obtenidos en la visualización de la intensidad de bandas presentes en el gel de agarosa mediante electroforesis (figura 1), estos coinciden, es decir, que mientras más intensas sea la banda más cantidad de ADN presenta.

Becton Dickinson (2008) y Durviz (2008) mencionan que la baja o nula cantidad de ADN o lisis celular incompleta obtenida de algún protocolo, en algunas ocasiones se debe al exceso de muestra utilizado, por lo que es recomendable utilizar menor cantidad o prolongar el tiempo de incubación en el paso correspondiente a la lisis, mientras que Del Valle *et al.* (2004) mencionan que la diferencia en la cantidad y calidad de ADN observada en algunas extracciones podría deberse, a la presencia de ARN.

Los datos obtenidos de la cuantificación muestran baja cantidad de DNA en las muestras, Baena *et al.* (2013) mencionan que una cantidad mayor a 100 ng/ $\mu$ l se considera la adecuada para la amplificación por PCR, pero no imposible si se tiene cantidades menores. El rango de pureza del ADN (Abs 260/A280) estuvo entre 1.40 y 2.06, obteniendo la mayor parte dentro del rango óptimo de pureza. La relación Abs 260/280 es muy estable y se considera que un ADN de pureza óptima tiene un valor entre 1.8-2.0.

Los resultados obtenidos en este trabajo evidencian que el proceso de aislamiento del material genético fue aceptable. Un ADN de pureza aceptable debe tener al menos una relación A260/280

> 1.6. Un valor A260/280 < 1.6 indica una posible contaminación por compuestos aromáticos como fenoles y proteínas. Un radio A260/280 > 2.1 podría deberse a la presencia de ARN en la muestra (Aguilar *et al.*, 2011). De acuerdo Wasko *et al.* (2003), los resultados de este estudio evidencian la necesidad de utilizar ARNs durante la extracción de ADN. Esto permitirá obtener muestras con mayor calidad en su ADN para realizar posteriormente una correcta amplificación.

Los resultados del presente trabajo muestran que las líneas híbridas y nativas tienden a perder calidad y cantidad de ADN, en comparación con líneas que han tenido un mejoramiento genético. Moreira *et al.* (2007) indican que la pérdida de variabilidad genética en la piscicultura, siempre es esperada cuando existe un mal manejo reproductivo, debido al cruzamiento de individuos emparentados; o también a la producción de lotes sin suficiente variabilidad genética (Povh *et al.*, 2008). Lo anterior según Kang *et al.* (2006) y Frost *et al.* (2006) aumenta el coeficiente de endogamia y reducirá el número efectivo de reproductores. Esta situación es bastante común en piscifactorías, ya que el método para adquirir nuevos y mayores lotes para la producción conlleva a la selección de individuos con características favorables, lo que puede dar a lugar a un efecto cuello de botella (bottleneck effect) donde la variabilidad genética es reducida (Lupchinski *et al.*, 2011).

## CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio muestran un perfil genético preliminar de las seis variedades de *Oreochromis niloticus* (tilapia del Nilo) que se cultivan en unidades de producción ubicadas en los Valles Centrales de Oaxaca. La cantidad y pureza del ADN presentó una relación directamente proporcional en las seis variedades de la especie, siendo Spring y GTM las variedades que alcanzaron los perfiles genéticos más destacados. La electroforesis muestra que las diferentes variedades presentan alta similitud en cuanto al peso molecular que la banda de cada variedad presenta. La caracterización genética de líneas de peces puede servir como herramienta para el establecimiento de bases de selección de cría o desarrollo de reproductores. Reconocer una línea genética de *O. niloticus* con resistencia y porte productivo, es fundamental para asegurar el futuro de la tilapicultura en Oaxaca.

## LITERATURA CITADA

- Baena-Del Valle, J. A., Á. J. Ramos-Moreno, C. J. Gómez-Alegría & E. E. Gómez-Camargo. 2013. Comparación de métodos de extracción de ADN en tejidos parafinados y utilidad para amplificación por PCR. *Revista Colombiana Biotecnología* 15(1): 172-179.
- Bentzen, H. B. & J. Thodesen. 2005. Genetic interactions between farmed and wild fish, with examples from the Atlantic Salmon case in Norway. In: Gjedrem, T. (Editor). *Selection and Breeding Programs in Aquaculture*. Springer, The Netherlands, pp. 319-359.
- Berton-Dickinson. 2008. Kit S QuickGene de extracción de ADN en Tejidos (DTS). Para aislamiento de ADN genómico de muestras en tejidos. Manual. Fuji Photo Film Co., Ltd. Life science products division. Nishiazabu 2-Chome, Minato-ku, Tokyo. Japan. 18 p.
- Del Valle, C., A. Rodríguez & M. Espinoza. 2004. Comparación de tres métodos de extracción de ADN a partir de restos óseos. Complejo de Ciencias Forenses del Organismo de Investigación Judicial, Heredia, Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 52(3): 717-725.
- Durviz, S. L. 2008. Kit extracción DNA SSS. REA1. RBME01/ RBME02. 5 pp.

- Feng, Y., P. Zhang, K. Wang & J. Xiang. 2007. Genetic variation of natural and cultured stocks of *Paralichthys olivaceus* by allozyme and RAPD. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 25: 78-84.
- Fitzsimmons, K. 2000. Tilapia: the most important aquaculture species of the 21 century. In: Fitzsimmons, K. and J. Carvalho filho (Eds.). *Proceedings from 5th International Symposium on Tilapia Aquaculture*. Rio de Janeiro. Brasil. pp. 3-8.
- Frost, L.A., B.S. Evans & D. R. Jerry. 2006. Loss of genetic diversity due to hatchery culture practices in barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture* 261: 1056-1064.
- Haughton, M., I. Carryl & N. Bissember. 2006. Fisheries policy and management in Canada and lessons for Caricom's common Fishery policy and regime. Report of Study Mission to Canada, CRFM. Belize, C.A. 29 p.
- Jiménez-Badillo, M. L. 1999. Análisis de la pesquería de tilapia *Oreochromis* sp. (Pisces: Cichlidae) en la presa Adolfo López Mateos, Michoacán-Guerrero. Tesis de Doctorado, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 217 p.
- Kang, J.H., J.K. Noh, J.H. Kim, J.H. Lee, H.C. Kim, K.K. Kim, B.S. Kim & W.J. Lee. 2006. Genetic relationship between broodstocks of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel) using microsatellite markers. *Aquaculture Research* 37: 701-707
- Liu, Z.J. & J.F. Cordes. 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture* 238: 1-37.
- Lopera-Barrero, N.M., R.P. Ribeiro, R.N. Sirol, J.A. Povh, P.C. Gomes, L. Vargas & D.P. Streit Jr. 2006. Genetic diversity in piracanjuba populations (*Brycon orbignyanus*) with the RAPD (Random Amplified Polimorphic DNA) markers. *Journal Animal Science* 84: 170.
- Lupchinski Jr., E. Vargas, L., N.M. Lopera-Barrero, R.P. Ribeiro, J.A. Povh, E. Gasparino, P.C. Gomes, y G.L. Braccini. 2011. Caracterización genética de tres líneas de tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*). *Archivos de Zootecnia* 60(232): 985-995.
- Melo, D.C., D.A.A. Oliveira, L.P. Ribeiro, C.S. Teixeira, A.B. Souza, E.G.A. Coelho, D.V. Crepaldi & E.A. Teixeira. 2006. Caracterização genética de seis plantéis comerciais de tilapia (*Oreochromis*) utilizando marcadores microssatélites. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 58: 87-93.
- Morales, D. A. 1991. La tilapia en México. Biología, cultivo y pesquerías. AGT Editor S.A. México. 190 p.
- Moreira, A.A., A.W.S. Hilsdorf, J.V. Silva & V. R. Souza. 2007. Variabilidade genética de duas variedades de tilapia nilótica por medio de marcadores microssatélites. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 521-526.
- Povh, J.A., N.M. Lopera-Barrero, R.P. Ribeiro, E. Lupchinski, P.C. Gomes & T.S. Lopes. 2008. Monitoreo genético en programas de repoblamiento de peces mediante marcadores moleculares. *Ciencia e Investigación Agraria* 35: 5-15.
- Vega-Villasante, F., M. C. Cortés-Lara, L. M. Zúñiga-Medina, B. Jaime-Ceballos, J. Galindo-López, M. E. Basto-Rosales & H. Nolasco-Soria. 2010. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala ¿alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México? *Revista Electrónica de Veterinaria* 11(3): 1- 15.
- Wasko, A.P., C. Martins, C. Oliveira & F. Foresti. 2003. Nondestructive genetic sampling in fish. An improved method for DNA extraction from fish fins and scales. *Hereditas* 138: 161-165.

## VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS AMBIENTALES QUE INCIDEN EN EL CULTIVO DE CAMARÓN *Litopenaeus vannamei*, EN COYUCA DE BENÍTEZ, GUERRERO, MÉXICO<sup>1</sup>

### [ENVIRONMENTAL PHYSICOCHEMICAL VARIABLES THAT AFFECT THE SHRIMP FARMING *Litopenaeus vannamei*, COYUCA DE BENÍTEZ, GUERRERO, MEXICO]

Silberio García Sánchez<sup>1§</sup>, Alejandro Juárez Agis<sup>1</sup>, Branly Olivier Salome<sup>1</sup>, Mayra Rivas González<sup>1</sup>,  
Jacqueline Zeferino Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Cayaco-Puerto Marqués (Ejido Llano Largo Parcela 56, 57 Y 58), Campus Llano Largo, C. P. 39906, Acapulco, Gro., México. Correos: ajuarezagis@hotmail.com, branlyos@gmail.com, mrvivasg@live.com.mx, jackyezt@gmail.com, <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (silberio\_garcia134@hotmail.com)

### RESUMEN

Las variables fisicoquímicas del agua en el cultivo de camarón son fundamentales para lograr los rendimientos de producción, evitar enfermedades y mortalidad de los organismos. El objetivo de este trabajo fue probar que algunas variables fisicoquímicas del agua en los estanques del cultivo del camarón, tienen incidencia en su crecimiento, así como también depende de la estación climática (lluvias y estiaje) en la que se encuentre. Se realizó un análisis factorial de componentes principales y de conglomerados jerárquico, con la finalidad de saber el grado de asociación entre la variable peso, con las variables fisicoquímicas del agua (oxígeno disuelto, temperatura, transparencia, pH, dureza, alcalinidad, nitratos, nitritos, y amonio). Se observó que, el aumento de un parámetro o la disminución de otro representan una correlación que puede ser positiva o negativa entre estos, por lo que es importante monitorear el oxígeno disuelto, alcalinidad, amonio, nitritos y dureza. Identificándose dos grupos: variables controlables (oxígeno disuelto, turbidez, pH, alcalinidad, dureza, amonio, nitritos y nitratos) y variables no controlables (temperatura y el periodo de cultivo). Se concluye que la variabilidad fisicoquímica del agua para cultivo de camarón es independiente al periodo de estiaje y de lluvias, pero sí depende del tipo de manejo de los estanques, por lo que el rendimiento de producción, así como el control de enfermedades dependen en mayor medida de las buenas prácticas acuícolas.

**Palabras clave:** Calidad del agua, ciclo de cultivo, cultivo de camarón, estanque rústico.

### ABSTRACT

The physicochemical variables of water in shrimp farming are fundamental to achieve production yields, to avoid disease and mortality of organisms. The main objective was to prove that some physicochemical variables of the water in shrimp farming ponds have an impact on shrimp growth, and that it also depends on the climatic season (rainfall and low water) in which it is found. A factorial analysis of Main Components and Hierarchical Conglomerates was carried out, in order to know the degree of association between the variable weight, with the physicochemical variables of water (dissolved oxygen, temperature, transparency, pH, hardness, alkalinity, nitrates, nitrites,

---

<sup>1</sup> Recibido: 11 de septiembre de 2018.  
Aceptado: 10 de diciembre de 2018.

and ammonium). It was observed that, the increase of one parameter or the decrease of another represent a correlation that can be positive or negative between them, so it is important to monitor dissolved oxygen, alkalinity, ammonium, nitrites and hardness. Two groups were identified: controllable variables (dissolved oxygen, turbidity, pH, alkalinity, hardness, ammonium, nitrites and nitrates) and non-controllable variables (temperature and culture period). Concluding that the physicochemical variability of water for shrimp farming is independent of the dry season and rainy season, rather it depends on the management of the ponds, so that the yields of production, as well as the control of diseases, depend to a greater extent on the good aquaculture practices.

**Index words:** Water quality, farming cycle, shrimp farming, rustic pond.

## INTRODUCCIÓN

México tiene enorme longitud de costas, lo que presenta una gran potencialidad para el cultivo de camarón, además posee una enorme diversidad de especies que se adaptan al cultivo (Rodríguez-Villa, 2013). La acuicultura es una actividad económica muy importante en México y es considerada como una actividad tecnificada que provee altas densidades de biomasa en espacios reducidos y en periodos de tiempo relativamente cortos (Guerrero-Olazarán *et al.*, 2004; Jiménez-Guzmán, 2009; Lara-Espinoza *et al.*, 2015).

Carrasco-Escalante *et al.* (2018) afirman que “la camaronicultura hoy en día es una de las actividades agroalimentaria más dinámicas y con tasas de crecimiento a un ritmo acelerado para nuestro país”. Esta característica ha hecho de la acuicultura una estrategia productiva ampliamente utilizada en muchos países, pero en particular en aquellos con economías emergentes, ya que contribuye a aminorar la insuficiencia alimentaria. La acuicultura es una actividad poco desarrollada que tuvo sus inicios en la década de los 70's en el litoral del Pacífico, donde se cultivó principalmente el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), en gran medida, gracias a su adaptabilidad, al desarrollo de la técnica adecuada y al financiamiento del que fue objeto en la época (Arabella *et al.*, 1984).

En el estado de Guerrero, el cultivo de camarón se ha desarrollado de manera exitosa, aunque a pequeña escala desde los años 90's (SAGARPA, 2014; Anaya-Rosas y Búckle-Ramírez, 2012). A partir del cierre en 1996 de la granja Acuícola Coin, la más grande del estado de Guerrero (180 hectáreas de estanquería rústica), originado por una mortalidad masiva producto del virus de Taura, la actividad ha tenido un crecimiento acelerado en las últimas dos décadas. De dos granjas de engorda registradas en el Estado en el año 2000, se incrementó en 2014, a 63 granjas con variados grados de tecnificación y desarrollo (Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero, 2014). Los sistemas de producción utilizados para esta actividad son extensivos, semi-intensivos o intensivos (Izabal, 2004; Arzola-González *et al.*, 2008; Lara-Espinoza *et al.*, 2015), cuya principal diferencia es la densidad (número de organismos por m<sup>2</sup>) y la calidad y cantidad de alimento suministrado.

Sin embargo, esta actividad acuícola en la última década se ha estancado debido a eventos naturales, en todo el país de México como el mar de fondo, provocado por el Fenómeno del Niño y que a su vez ha dado origen a enfermedades y epidemias, causando mortalidades en los cultivos de hasta el 100% (Esparza-Leal *et al.*, 2009; Cervantes-Cervantes, 2011). El surgimiento en los últimos años de diversos virus como el virus del síndrome de Taura (TSV), virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa (IHHNV), virus de la cabeza amarilla (YHV), virus de

la mionecrosis infecciosa (IMNV), enfermedad de la mancha blanca (WSSV), y el virus de la mortalidad temprana, así como otras enfermedades bacteriológicas, han impedido alcanzar los niveles de calidad y cantidad, que eran característicos de la producción de camarón principalmente en el estado de Sinaloa (Cervantes-Cervantes, 2011; Godínez *et al.*, 2012; Hernández-Gurrola, 2016; Carrasco-Escalante *et al.*, 2018).

La producción de camarón en estanques está sujeta a diferentes variaciones, tanto de bioseguridad, de nutrición, y de alimentación de los organismos, así como por la alteración de la calidad del agua, en ese sentido a la medición de la calidad del agua se le ha dado muy poca importancia (Hernández-Gurrola, 2016). La industria camaronera que opera actualmente en la entidad se caracteriza por la falta de planeación en los procesos de producción, y de implementación de acciones de prevención ante las eventualidades y control de la calidad del agua en sus cultivos, lo cual las hace altamente vulnerables y representa un alto riesgo en su productividad. Se ha demostrado que durante el proceso de producción, el camarón es muy vulnerable a enfermedades debido a su baja capacidad de homeostasis y a la poca adaptabilidad que tiene a los cambios bruscos del medio ambiente (Alpuche *et al.*, 2005; Jiménez-Guzmán, 2009), particularmente de las condiciones fisicoquímicas del agua de los estanques como la temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, pH, alcalinidad, dureza así como en las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos (Orellana-Tandazo, 2000; Palafox y Soto, 2001; Molina y Orellana-Tandazo, 2001; Arzola-González *et al.*, 2008; Jiménez-Guzmán, 2009).

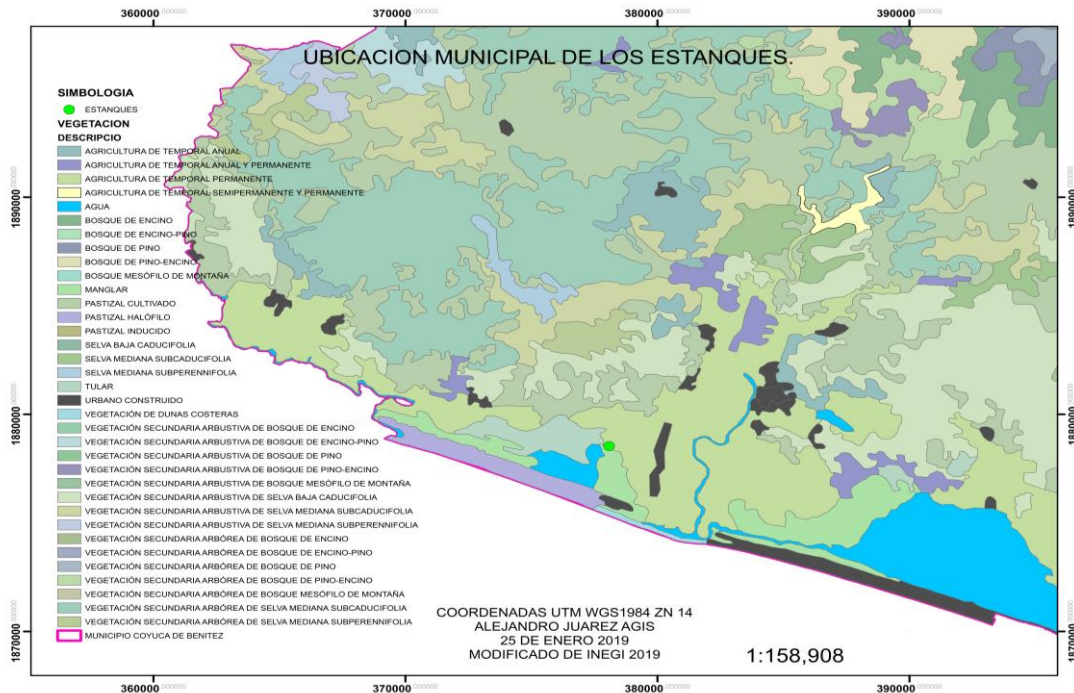
El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo probar que algunas variables fisicoquímicas ambientales como la temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, pH, alcalinidad, dureza así como las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos del agua en los estanques del cultivo del camarón, tienen incidencia en el crecimiento del camarón y su rendimiento de los estanques, y que también depende de la estación climática (lluvias y estiaje), en la unidad de producción de la Sociedad Cooperativa Pesquera “El Camarón Dorado” S. C. de R. L. de C. V., ubicada en la localidad de San Nicolás, Municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en la unidad de producción de la Sociedad Cooperativa Pesquera “El Camarón Dorado” S. C. de R. L. de C. V., ubicada en la localidad de San Nicolás, Municipio de Coyuca de Benítez, Gro., a los 16° 59' 15.57" N y 100° 8' 42.75" O (Figura I). Se utilizaron dos estanques rústicos, con capacidad de una hectárea cada uno. En el estanque 1 se realizaron 8 muestreos (periodo de lluvias) comprendidos entre el 28 de junio al 17 de agosto del 2014. En el estanque 2 (periodo de estiaje), se realizaron 11 muestreos, comprendidos entre el 31 de agosto al 29 de noviembre del 2014. En el estanque 1, solo se llevó a cabo 8 muestreos, debido a que, se inició el muestreo cuando los estanque tenían dos meses de operación, después de que se sembraron los organismos. En el estanque 2 los muestreos se realizaron desde el inicio de siembra de los organismos (31 de agosto).

Para la captura de los ejemplares se utilizó una atarraya con un diámetro de tres metros. A cada organismo capturado se le tomó el peso total (PT) mediante una balanza digital (marca Ohaus, sensibilidad 0.01). Inicialmente los organismos registraron un peso promedio de 13.76 g (N=100, estanque 1), y en el estanque 2 el peso promedio fue de 0.002 g (PL<sub>15</sub> -15 días en fase de postlarva). Los datos de las variables de estudios fueron tomados semanalmente en tres turnos durante el día (7:00 horas, 14:00 horas y 19:30 horas). Las variables medidas fueron: temperatura (°C), oxígeno disuelto (m/L) (Multiparametro ISY); transparencia (cm) (Disco de Secchi); potencial de hidrogeno

(pH), amonio (m/L), nitratos (m/L), nitritos (m/L), alcalinidad (m/L) y dureza (m/L), (Photometers YSI 3900).



**Figura 1. Ubicación de los estanques en la unidad de producción de la Sociedad Cooperativa Pesquera “El Camarón Dorado” S. C. de R. L. de C. V., en la localidad de San Nicolás, Municipio de Coyoaca de Benítez, Gro. Fuente: Elaboración propia a partir de datos vectoriales. INEGI, 2012, México.**

Para contrastar los datos se aplicó la prueba de análisis factorial de componentes principales, con la finalidad de saber el grado de asociación entre la variable peso, con las variables fisicoquímicas del agua (temperatura, oxígeno disuelto, transparencia, pH, amonio, nitratos, nitritos, alcalinidad y dureza), utilizando la matriz de correlaciones. Así mismo se aplicó un análisis de conglomerados jerárquico, método vinculación entre grupos, con este análisis, el objetivo fue saber cuáles variables se agrupan y las que son más homogéneas dentro de cada grupo y las más heterogéneas entre los grupos de los estanques de cultivo durante el periodo de lluvias y de estiaje. El Software SPSS 16 (Santoso, 2008) fue utilizado para estos análisis.

### Descripción de las variables

**Temperatura.** La temperatura del agua afecta a la densidad, viscosidad, solubilidad de los gases y en particular a la del oxígeno, así como la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas de los estanques (Alpuche *et al.*, 2005). Estudios realizados por Ponce-Palafox *et al.* (1997); Boyd (2001); Hernández-Gurrola, (2016) indicaron que las especies de camarón crecen mejor a temperatura de 25 °C a 32 °C. El intervalo óptimo de temperatura para esta especie es de 20 a 30 °C (Clifford, 1994; Hirono, 1983; Lee y Wickings, 1992; SENASICA, 2003), valores mayores o inferiores pueden ser letales (Cuadro 9). Ponce-Palafox *et al.* (1997) mencionan que en general, el camarón crece en temperaturas cercanas a las que predominan en su hábitat natural.

**Oxígeno Disuelto (OD).** El oxígeno es la variable más importante de un ambiente acuático. El oxígeno disuelto en el agua es un factor regulador del metabolismo de los camarones e influye en el estanque de cultivo afectando el crecimiento del organismo cultivado y la eficiencia de conversión alimenticia, así como causa de estrés, bajo apetito, susceptibilidad a enfermedades y mortalidad en los cultivos (Alpuche *et al.*, 2005; Boyd y Hanson, 2010). El intervalo óptimo de oxígeno disuelto para el cultivo de camarón, es de 6–10 mg/L (Clifford, 1994); mayor a 5 mg/L (Lee y Wickings, 1992); mayor 4 mg/L (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SENASICA, 2003) (Cuadro 9) y para Sonnenholzner (2014) y Hernández-Gurrola (2016) entre 4 y 7 mg/L.

Anongponyoskun *et al.* (2012) y Hernández-Gurrola (2016) mencionan que la concentración de oxígeno disuelto en los estanques dependerá principalmente de cinco factores los cuales son: la transferencia aire-agua, la respiración del fitoplancton y microorganismos, la respiración de los organismos, la respiración del sedimento y la producción por fotosíntesis.

**Turbidez o Materia en Suspensión (MES).** La turbidez puede ser definida como la “nubosidad” del agua y es causada por la presencia de materia sólida suspendida. Los sólidos suspendidos dispersan la luz que pasa a través del agua. Por lo tanto, la turbidez de los cuerpos de agua determina la profundidad a la cual las plantas acuáticas pueden crecer. Los datos de turbidez se expresan en centímetros. Estudios realizados por Clifford (1994) indican que la turbidez óptima es de 35 a 45 cm; según Hirono (1983) debe ser mayor a 30 cm; para (SENASICA, 2003) el intervalo es de 25 a 50 cm (Cuadro 9).

**pH.** El pH o potencial de hidrógeno es un indicador de que el agua se encuentre ácida o básica en su reacción. Mientras que el pH es un indicador de la concentración del ion hidrógeno en el agua (H<sup>+</sup>), mientras que la acidez representa la capacidad de neutralizar bases fuertes y la alcalinidad de neutralizar ácidos fuertes (Hernández-Gurrola, 2016). La medida del pH es adimensional y un valor comprendido entre 0 a 7 es ácida y entre 7 a 14 es básica, por lo tanto, el valor 7 es indicativo de un medio neutro. El intervalo óptimo de pH para esta especie es variable y va de 6 a 9 (Guerrero-Olazarán *et al.*, 2004 y Argurto-Montes, 2009); de 8.1 a 9.0 (Clifford, 1994); de 7 a 8 (Hirono, 1983); de 7.8 a 8.3 (Lee y Wickings, 1992) y de 7.8 a 8.3 (SENASICA, 2003) (Cuadro 9).

El pH en los estanques de en las mañanas por lo regular, suele ser menor, esto debido a los cambios en la fotosíntesis del fitoplancton, esta variación puede ser mayor cuando el fitoplancton es abundante, y puede ser menor con alta concentración de alcalinidad, esto por la capacidad de amortiguación, la medición de este parámetro es de suma importancia ya que, dependiendo de su valor, afectará el metabolismo del camarón ocasionándole diferentes efectos (Boyd, 2001). Este mismo investigador menciona que un pH de 4 lo considera como un punto de acidez letal, a un pH de 4 a 5 se inhibe la reproducción del camarón, a un pH de 4 a 6 el camarón presenta un crecimiento lento, a un pH de 6 a 9 se presenta un buen crecimiento, a un pH de 9 a 11 el crecimiento vuelve a ser lento y por último a un pH de 11 o mayor, se considera como letal para el organismo.

**Alcalinidad y Dureza.** La alcalinidad es dada por la concentración de iones de carbonato, bicarbonato y la dureza, por la concentración de iones de calcio y magnesio. Una forma sencilla de saber si el agua posee una alta concentración de sales sin realizar análisis de laboratorio es observar si se forman costras blancas (sarro) en los bordes de los estanques, o bien, si el jabón tarda mucho en hacer espuma y si ésta desaparece rápidamente. En épocas de sequía, cuando los espejos de agua disminuyen y no hay abastecimiento, la evaporación incrementa la dureza del agua (Jiménez-Guzmán, 2009).

La alcalinidad en un estanque de cultivo de *P. vannamei* no debe bajar de 80 mg/L CaCO<sub>3</sub> para lograr un óptimo crecimiento y buena supervivencia (Limsuwan, 2005). Cuando el agua está con nivel bajo de alcalinidad, el pH varía mucho y estos cambios fuertes de pH pueden causar estrés, bajo crecimiento e incluso mortalidad en el camarón (Ching, 2007). La alcalinidad óptima varía de acuerdo con el autor, para Clifford (1994) es de 100 a 140 mg/L; y para SENASICA (2003) es de 90 a 120 mg/L. El nivel de dureza adecuado para el cultivo de camarón está entre 80 y 200 mg/L CaCO<sub>3</sub>, según Ching (2007), (Cuadro 9).

Salinidad. Salinidad es la concentración total de todos los iones disueltos expresados en partes por millón (ppm) en el agua. Las sales en solución cambian la naturaleza física y química del agua. La salinidad está determinada principalmente por sólidos disueltos, como: fosfatos, bicarbonatos, sulfatos, nitratos y otros (Guerrero-Olazarán *et al.*, 2004 y Agurto-Montes, 2009). Los niveles óptimos de Salinidad son de 15 a 25 ppm (Clifford, 1994); de 5 a 25 ppm (Hirono, 1983); de 15 a 30 ppm (Lee y Wickings, 1992); y de 20 a 35 ppm (SENASICA, 2003) (Cuadro 9).

Los camarones *Litopenaeus vannamei* han sido cultivados exitosamente en salinidades desde 3 ppt a >50 ppt y son especies eurihalinas (Erchao *et al.*, 2007; Moreno-Figueroa *et al.*, 2014; Hernández-Gurrola, 2016). Sin embargo, Dong-Huo *et al.* (2000) y Hernández-Gurrola (2016) han reportado que a bajas salinidades puede afectar la fisiología del camarón y la calidad del agua al aumentar la excreción de amonio, lo que puede afectar la tasa de respiración y producción de CO<sub>2</sub> (Erchao *et al.*, 2007 y Hernández-Gurrola, 2016), por lo que bajo estas condiciones se esperaría un menor crecimiento debido a la energía utilizada para la osmorregulación (Jiann-Chu y Fan-Hua 1994 y Hernández-Gurrola, 2016).

Amonio, Nitritos y Nitratos. Son producto de la degradación de la proteína proveniente de la materia orgánica que hay en los estanques, desechos orgánicos de los camarones y de la alimentación y esto se lleva a cabo en el transcurso de unas pocas horas (Hernández-Gurrola, 2016). Según Burford y Williams (2001) y Hernández-Gurrola (2016) en el caso de las heces, un 26% del Nitrógeno (N) es lixiviado en forma de urea la cual es rápidamente utilizada por la comunidad microbiana en el estanque. Mientras que el N orgánico lixiviado del alimento (23% aminas primarias) parece ser menos biodisponible y tiende a acumularse en el agua del estanque. Éstos se localizan en el fondo del cuerpo de agua, así como en el lodo. Los tres compuestos producen disminución del oxígeno disuelto en el agua, disminución del valor de pH tornando el agua en un medio muy ácido.

En el caso del amonio, si su concentración es mayor de 0.1 mg/L, podría constituirse como un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales. Frías-Espericueta y Páez-Osuna (2001) observaron que el exceso de nitrógeno con respecto a la capacidad de asimilación de los estanques de cultivo provoca un deterioro de la calidad del agua, por la gran acumulación de amonio, nitritos y nitratos, los cuales son tóxicos para la biota. El amonio es tóxico, y se hace más tóxico cuando el pH y la temperatura del agua están elevados (Frías-Espericueta y Páez-Osuna, 2001).

Para Boyd (2002) por arriba de 3 o 4 mg/L de concentración del nitrógeno amoniacal total, es tóxico para los camarones y también con pH superior a 8.5 o 9 debido a la proporción NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>. De los dos compuestos químicos del amonio, al amonio no-ionizado o amoniaco (NH<sub>3</sub>) es de mayor toxicidad, mientras que el amonio ionizado (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) es significativamente menos tóxico (Frías-Espericueta y Páez-Osuna, 2001). Sin embargo, la acumulación de amoniaco (NH<sub>3</sub>) y nitritos (NO<sub>2</sub>) causa toxicidad en los estanques, disminuye el apetito del camarón, y causa la mortalidad de la

población (Chen-Chu *et al.*, 1990 y Hernández-Gurrola, 2016). Para Clifford (1994) e Hirono (1983), el valor óptimo de amoníaco para el cultivo de camarón debe ser menor a 0.1 mg/L; mientras que Lee y Wickings (1992) sugieren niveles óptimos de 0.09 a 0.11 mg/L y para SENASICA (2003) menor a 0.12 mg/L (Cuadro 9).

Nitratos y Nitritos. Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones mayores es peligrosa. Sólo son detectados cuando se manifiesta un problema de salud en organismos de cultivo. Niveles de nitrato entre 0.4 a 0.8 mg/L, son generalmente seguros para los camarones, mientras que cualquier valor superior a 0.8 mg/L puede ser tóxico según Clifford (1994). Niveles de nitritos superior a 0.1 mg/L puede ser tóxico para los camarones (SENASICA, 2003); sin embargo, Hirono (1983) ha reportado su toxicidad a niveles superiores a 3.0 mg/L y Clifford (1994) establece valores críticos desde 1.0 mg/L, mientras que Lee y Wickings (1992) reportan que valores superiores a 0.25 mg/L pueden causar toxicidad. (Cuadro 9).

### **Análisis de componentes principales (ACP):**

Mediante el Análisis de Componentes Principales se presentan las correlaciones de las variables (promedios) de estudio de las 8 semanas de muestreo medidas en el estanque 1 (periodo de lluvias) y de las 11 semanas de muestreo en el estanque 2, durante el periodo de estiaje.

### **Primer análisis de componentes principales del estanque 1, periodo de lluvias.**

Se realizó un ACP método de extracción, con 7 variables: peso, oxígeno disuelto, temperatura, transparencia, pH, nitritos, y amonio (Cuadro 1). Se obtuvieron dos componentes, los cuales estuvieron conformados de la siguiente manera:

**Cuadro 1. Primer análisis de componentes principales, estanque 1, periodo de lluvias.**

Variables	Componentes rotados	
	1	2
Peso	0.967	0.121
Oxígeno disuelto	0.896	0.062
Amonio	-0.837	0.469
Temperatura	0.824	-0.205
Nitritos	0.610	-0.457
pH	-0.168	0.873
Transparencia	0.049	0.805

Primer componente, que se refiere a la variable peso mostró una relación directa con las variables oxígeno disuelto, temperatura y nitritos, indicando que un aumento de oxígeno disuelto y de temperatura involucra un aumento en el peso de los camarones (Cuadro 1). El oxígeno disuelto al ser un factor ambiental regulador del metabolismo de los camarones y combinado con la ausencia de estrés en los mismos, contribuyó a que aumentara el peso de estos organismos, mientras que la temperatura favoreció al metabolismo del organismo con respecto al crecimiento y la muda.

Por otro lado, se observó una relación indirecta con el amonio, cuyos incrementos de concentración pueden estar asociados con pérdida de calidad del agua, debido a exceso de materia orgánica en descomposición y a su vez por problemas de recambio.

En el componente número dos se observa una relación directa entre la variable pH y transparencia, esto indica que el aumento de pH, torna el medio alcalino y el agua es menos turbia, debido a la utilización de cal hidratada con la finalidad de eliminar o inhibir la mayor parte de organismos de plancton en la columna del agua y ajustar el pH de los sedimentos del fondo del estanque.

El análisis estadístico de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) presentó un valor de 0.595, por lo que se consideró que existe adecuación muestral para el ACP. Por otro lado, la prueba de Esfericidad de Bartlett resultó significativa ( $x^2 = 51.479$ , g. l. = 21; P = 0.000), confirmando la relación lineal entre variables (Cuadro 2).

**Cuadro 2. KMO y prueba de Bartlett**

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.595
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	51.479
	Gl	21
	Sig.	0.000

**Cuadro 3. Varianza total explicada**

Compon ente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3.832	54.737	54.737	3.832	54.737	54.737	3.521	50.305	50.305
2	1.589	22.699	77.436	1.589	22.699	77.436	1.899	27.132	77.436
3	.853	12.187	89.624						
4	.439	6.275	95.898						
5	.261	3.727	99.625						
6	.026	.373	99.999						
7	9.46E-005	.001	100.000						

Método de extracción: Análisis de Componentes Principales.

### Segundo análisis de componentes principales del estanque 2, periodo de estiaje

Se realizó un segundo ACP con diez variables. El peso, oxígeno disuelto, temperatura, transparencia, pH, dureza, alcalinidad, nitritos, nitratos y amonio (Cuadro 4).

Primer componente, el peso mostró relación directa negativa con las variables, transparencia, alcalinidad y dureza, indicando que un aumento de la transparencia, alcalinidad, y durezas disminuye el peso de los organismos cultivados en el estanque 2 en el periodo de estiaje, debido también por la utilización de cal hidratada.

En el segundo componente, el oxígeno disuelto mostró una relación directa negativa con las variables nitritos y amonio, ya que, al aumentar el oxígeno disuelto, se observó una disminución de la concentración de amonio y de nitritos, por lo que muestra una mala calidad del agua en el estanque de cultivo.

El tercer componente, la variable pH (acidificación) tiene relación directa con las variables de nitratos y amonio, los que indica que, al disminuir el pH, se favorece una mayor concentración de los nitratos y por ende el aumento de la concentración del amonio en el estanque 2, periodo de estiaje. La acidificación que se presentó puede estar asociada por el exceso de materia orgánica en descomposición de los desechos de los organismos y por la falta de recambios de agua.

El cuarto componente estuvo integrado exclusivamente por la variable temperatura, lo que indica que no mantuvo una relación estrecha con alguna de las otras variables fisicoquímicas.

**Cuadro 4. Segundo análisis de componentes principales, estanque 2, periodo de estiaje.**

Variables	Componente rotados			
	1	2	3	4
Peso	-0.871	0.013	0.468	0.035
Transparencia	0.837	0.410	0.112	0.091
Alcalinidad	0.825	-0.112	-0.283	-0.419
Dureza	0.752	0.387	-0.272	0.342
Nitritos	-0.079	-0.884	0.043	0.066
Oxígeno disuelto	0.132	0.828	-0.102	-0.030
Nitratos	-0.268	0.077	0.821	-0.123
pH	0.107	0.415	-0.740	-0.366
Amonio	-0.155	-0.579	0.620	0.060
Temperatura	0.006	-0.099	0.028	0.973

El estadístico de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) presentó un valor de 0.647, por lo que la adecuación muestral para el ACP se consideró como aceptable. Por otro lado, la prueba de Esfericidad de Bartlett resultó significativa ( $\chi^2 = 108.4803$ , gl. = 45; P = 0.000), indicando la relación lineal entre variables (Cuadro 5).

**Cuadro 5. KMO y prueba de Bartlett**

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.647
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado
	108.480
	Gl
	45
	Sig.
	0.000

La varianza total explicada a partir de la extracción de cuatro componentes fue de 85.67%, en donde el primer componente presentó un 43.04 %, el segundo 17.43%, el tercero 14.69% y el cuarto 10.50% (Cuadro 6).

La cantidad total de varianza explicada por cada variable, el menor valor lo presentó el oxígeno disuelto con 0.714, y el valor mayor lo presentó el peso con 0.980. En cuanto a las saturaciones de cada variable en la matriz de componentes, se observó que nueve variables saturaron en más de un componente, por lo que se aplicó un proceso de rotación de los ejes de los componentes, y de esta manera cada variable saturó en uno sólo.

**Cuadro 6. Varianza total explicada.**

Compo nente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulad o	Total	% de la varianz a	% acumulado	Total	% de la varianz a	% acumulad o
1	4.305	43.047	43.047	4.305	43.047	43.047	2.835	28.352	28.352
2	1.744	17.437	60.484	1.744	17.437	60.484	2.320	23.201	51.553
3	1.469	14.694	75.179	1.469	14.694	75.179	2.005	20.054	71.607
4	1.050	10.501	85.679	1.050	10.501	85.679	1.407	14.072	85.679
5	.647	6.474	92.153						
6	.394	3.936	96.089						
7	.232	2.322	98.411						
8	.098	.979	99.390						
9	.061	.610	100.000						
10	2.05E-006	2.05E-005	100.000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

### Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados permitió agrupar las variables más homogéneas dentro de cada grupo y más heterogéneas entre los grupos.

Analizando los conglomerados realizados, las variables se agrupan de la siguiente manera: Las variables peso y semana de cultivo, se agrupan en los dos periodos lluvias y estiaje, lo que indica la alta correlación en el comportamiento de estas variables durante el desarrollo productivo.

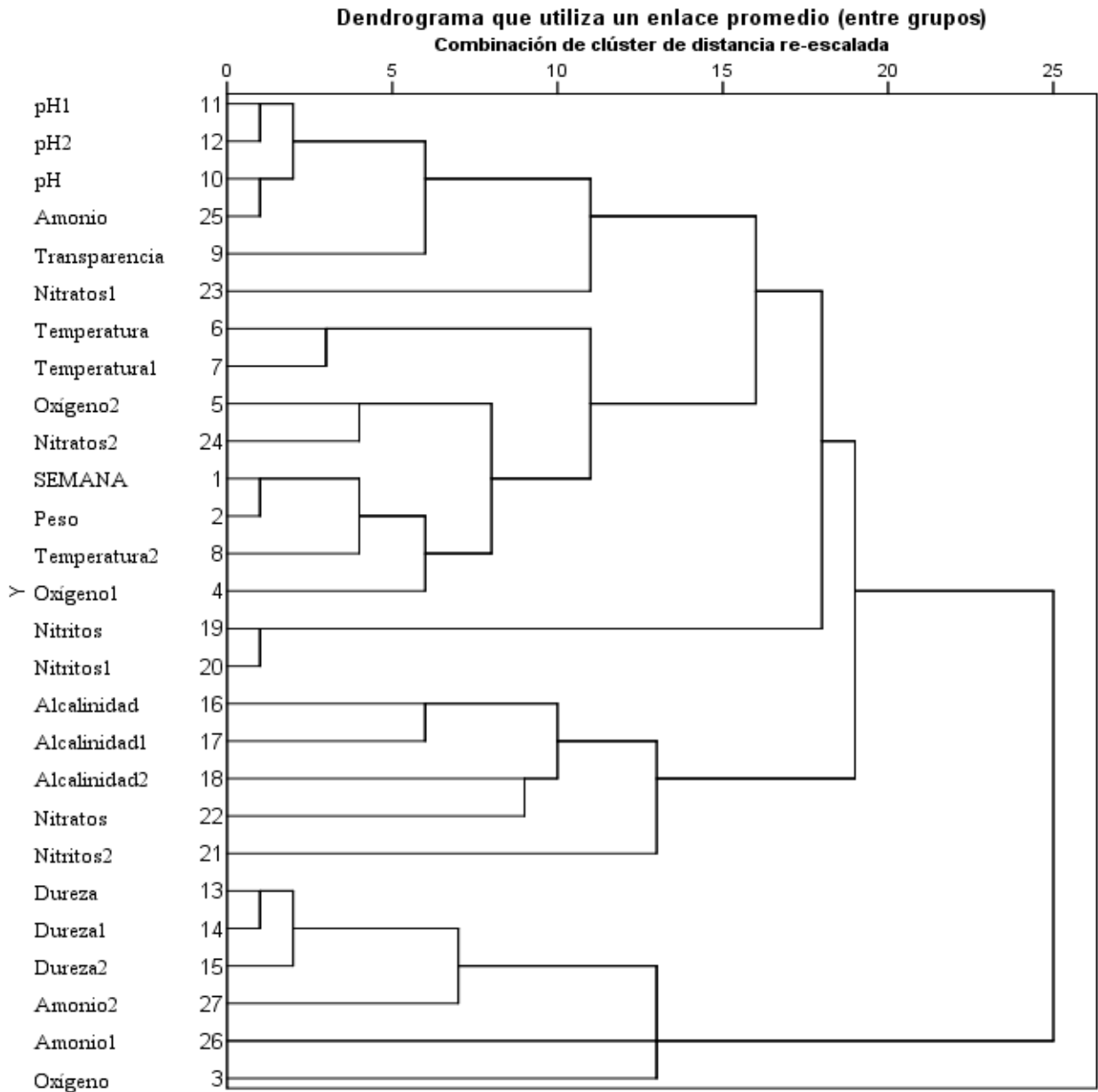
En el periodo de lluvias, el pH de la mañana, el amonio de la mañana y el pH de medio día y de la tarde se agrupan, por lo que hay una relación entre la transparencia del agua con el pH y este a su vez con la concentración del amonio de la mañana y con la concentración de nitratos de medio día (Figura 2).

Las variables semana, peso, temperatura de la mañana, de medio día, oxígeno de la tarde y nitratos de la tarde se agrupan, lo que indica la relación entre estos parámetros con el peso de los camarones, es decir el peso con el oxígeno, la temperatura y estos a su vez con la concentración de nitratos (Figura 2).

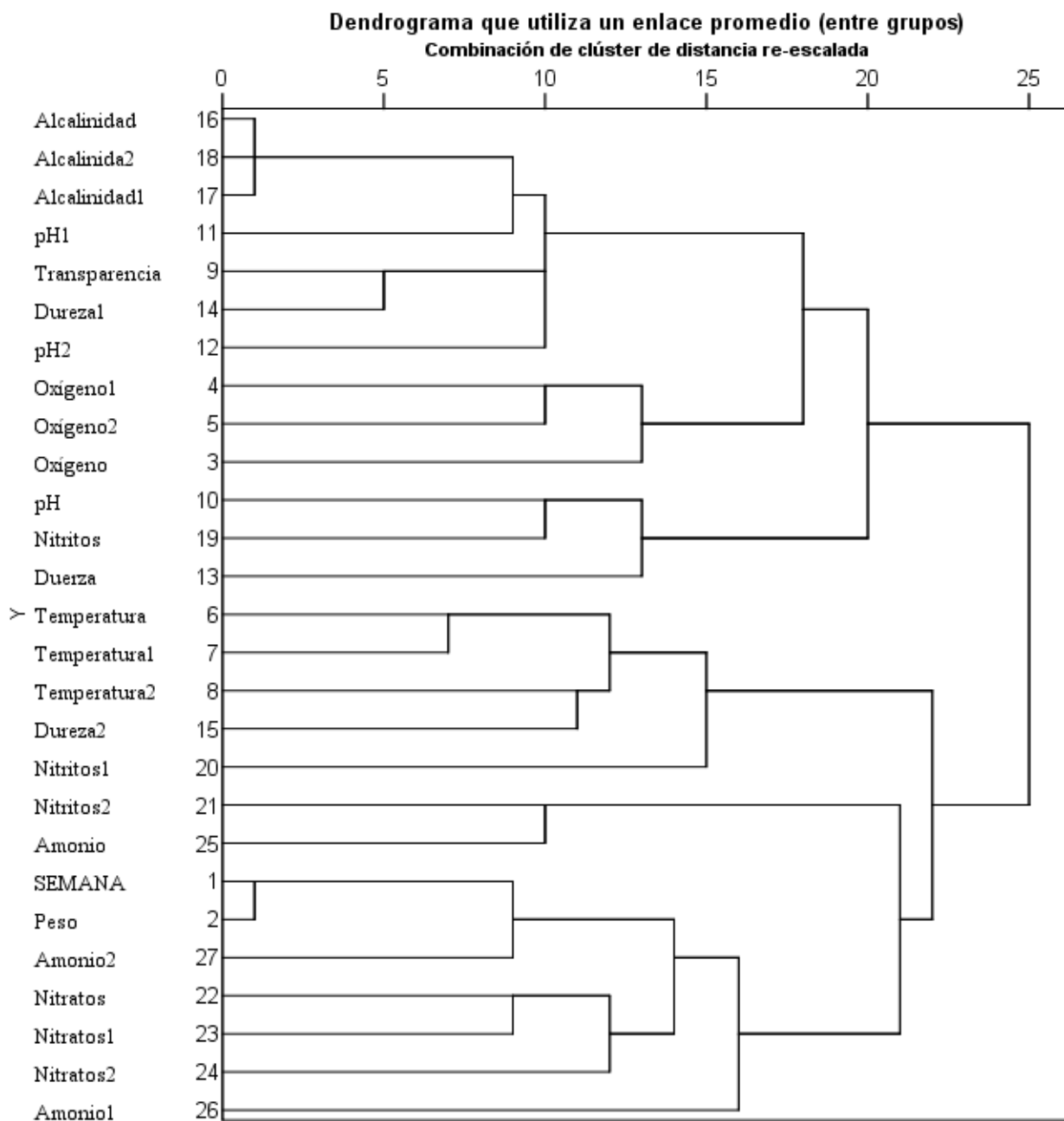
La concentración de nitratos de la mañana, alcalinidad de la tarde, de medio día, de la mañana y nitritos de la tarde se agrupan, lo que indica la relación entre estos parámetros. Así mismo las variables, la dureza de la mañana, de medio día, de la tarde, la concentración de amonio de la tarde, también se agrupan, indicando la relación que hay entre la dureza con el amonio y a su vez con la concentración del oxígeno (Figura 2).

Las variables el periodo de estiaje, la alcalinidad de la mañana, de medio día, de la tarde y el pH de la tarde, de medio día, la dureza de medio día, se agrupan con la transparencia del agua, esta agrupación se debe a la relación que existe entre la alcalinidad con el pH, la dureza y con la transparencia (Figura 3).

El pH de la mañana, nitritos de la mañana y la dureza del agua se agrupan. Esto se debe a la relación que existe entre el pH con la concentración del oxígeno y con la concentración de nitritos y dureza. Por otra parte, los nitratos de la mañana, de medio día, de la tarde, el peso del organismo, la semana de cultivo, se agrupan y se asocian con la concentración del amonio de medio día y de la tarde. Esta agrupación se debe a que el peso de los organismos está relacionado con la concentración de los nitratos y con el amonio (Figura 3).



**Figura 2. Dendrograma periodo de lluvias.** Abreviaturas: oxígeno (de la mañana), oxígeno1 (de medio día), oxígeno2 (de la tarde); temperatura (de la mañana), temperatura1 (de medio día), temperatura2 (de la tarde); pH (de la mañana), pH1 (de medio día), pH2 (de la tarde); dureza (de la mañana), dureza1 (de medio día), dureza2 (de la tarde); alcalinidad (de la mañana), alcalinidad1 (de medio día), alcalinidad2 (de la tarde); nitritos (de la mañana), nitritos1 (de medio día), nitritos2 (de la tarde); nitratos (de la mañana), nitratos1 (de medio día), nitratos2 (de la tarde); amonio (de la mañana), amonio1 (de medio día) y amonio2 (de la tarde).



**Figura 3.** Dendrograma Periodo de estiaje. Abreviaturas: oxígeno (de la mañana), oxígeno1 (de medio día), oxígeno2 (de la tarde); temperatura (de la mañana), temperatural (de medio día), temperatura2 (de la tarde); pH (de la mañana), pH1 (de medio día), pH2 (de la tarde); dureza (de la mañana), dureza1 (de medio día), dureza2 (de la tarde); alcalinidad (de la mañana), alcalinidad1 (de medio día), alcalinidad2 (de la tarde); nitritos (de la mañana), nitritos1 (de medio día), nitritos2 (de la tarde); nitratos (de la mañana), nitratos1 (de medio día), nitratos2 (de la tarde); amonio (de la mañana), amonio1 (de medio día) y amonio2 (de la tarde).

Se puede observar que en los dos periodos de cultivo (lluvias y estiaje), la mayoría de las variables son *similares* entre sí; por lo que se puede considerar que en general los datos son *homogéneos*, ya que la mayoría de observaciones queda a una distancia inferior a 10 del resto, lo

que indica la alta correlación en el comportamiento de estas variables durante los dos periodos de cultivo (Figura 2 y 3). Sin embargo, hay algunas con distancias grandes entre sí, como es el caso en el periodo de lluvias, nitritos de la mañana, nitritos de la tarde, amonio de medio día y oxígeno de la mañana). Para el periodo de estiaje el oxígeno de la mañana y de medio día, el pH de la mañana), la dureza de la mañana), nitritos de medio día, nitritos de la tarde y amonio de medio día. Lo anterior confirma las correlaciones fuertes que existen entre las variables de estudio tanto en el periodo de lluvias como en el periodo de estiaje.

**Cuadro 7. Estanque 1 (periodo de lluvias), promedio de los 8 muestreos de los valores físicos y químicos del cultivo de camarón, durante el periodo del 28 de junio al 17 de agosto del 2014. Temperatura (°C); Oxígeno Disuelto (mg/L); Transparencia (cm); Potencial de Hidrógeno (pH); Amonio (mg/L); Nitritos (mg/L); Nitratos (mg/L); Alcalinidad (mg/L) y Dureza (mg/L).**

Estadísticos	Temperatura	O. D.	Transparencia.	pH	Amonio	Nitritos	Nitratos	Alcalinidad	Dureza
N	24	24	24	24	23	24	24	24	21
Media	32.033	5.719	19.667	8.360	0.539	0.319	0.053	244.66	326.52
Desv. típ.	1.841	4.459	2.514	0.184	0.313	0.103	0.019	19.203	181.98
Mínimo	29.7	0.04	17	7.5	0.01	0.14	0.033	215	43
Máximo	37	13.6	24	8.4	1	0.59	0.105	285	500

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 8. Estanque 2 (periodo de estiaje), promedio de los 11 muestreos de los valores físicos y químicos del cultivo de camarón, durante el periodo del 31 de agosto al 29 de noviembre del 2014. Temperatura (°C); Oxígeno Disuelto (mg/L); Transparencia (cm); Potencial de Hidrógeno (pH); Amonio (mg/L); Nitritos (mg/L); Nitratos (mg/L); Alcalinidad (mg/L) y Dureza (mg/L).**

Estadísticos	Temperatura	O. D.	Transparencia.	pH	Amonio	Nitritos	Nitratos	Alcalinidad	Dureza
N	33	33	33	31	22	33	33	13	33
Media	31.75	6.68	26.09	7.53	0.19	0.71	0.09	180.77	61.33
Desv. típ.	2.29	2.25	2.82	0.36	0.15	0.37	0.14	18.47	18.51
Mínimo	27.90	2.64	22.00	6.50	0.01	0.10	0.02	160.00	30.00
Máximo	36.50	10.40	30.00	8.50	0.41	1.50	0.65	220.00	109.00

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura varió entre 29.7 y 37.0 °C con un media de 32.03 °C, el oxígeno disuelto osciló entre 0.04 y 13.6 mg/L con una media de 5.71 mg/L, la transparencia con un promedio de 19.6 cm con una variabilidad entre 17 y 24 cm, el pH mantuvo un promedio de 8.36 y varió de 7.5 a 8.4, el amonio fluctuó entre los 0.01 y 1.0 mg/L con un promedio de 0.539 mg/L, los nitratos se mantuvieron en un rango comprendido entre 0.14 y 0.59 mg/L con un promedio de 0.319 mg/L, los nitritos variaron entre 0.03 y 0.105 mg/L con una media de 0.053 mg/L, la alcalinidad presentó un rango entre 215 y 285 mg/L con un promedio de 244.66 mg/L y la dureza osciló entre 43 y 500 mg/L con una media de 326.52 mg/L (Cuadro 7).

El trabajo realizado por Hernández-Gurrola, (2016) coincide con lo estimado en este trabajo ya que se encontraron valores más bajos de pH por la mañana (7.5 y 6.5) y por la tarde (8.4 y 8.5) para

el estanque 1 y 2 respectivamente, ya que dicho autor estima valores de pH bajos durante las 08:00 h (7.0) y los más altos fueron a las 18:00 h (8.9), por lo tanto, no es un factor de riesgo para la salud de los camarones ya que se mantuvo en niveles óptimos para el crecimiento.

Se muestran los promedios de las 11 semanas de muestreo de las variables fisicoquímicas medidas en el estanque 2, durante el periodo de estiaje (Cuadro 8). La temperatura varió entre 27.9 y 36.5 °C con un media de 31.75 °C, el oxígeno disuelto osciló entre 2.64 y 10.4 mg/L con una media de 6.68 mg/L, la transparencia se ubicó en un promedio de 26.09 cm con una variabilidad entre 22 y 30 cm, el pH mantuvo un promedio de 7.53 y varió de 6.5 a 8.5, el amonio fluctuó entre los 0.01 y 0.41 mg/L con un promedio de 0.19 mg/L, los nitratos se mantuvieron en un rango comprendido entre 0.10 y 1.5 mg/L con un promedio de 0.71 mg/L, los nitritos variaron entre 0.02 y 0.65 mg/L con una media de 0.09 mg/L, la alcalinidad presentó un rango entre 160 y 220 mg/L con un promedio de 180.77 mg/L y la dureza osciló entre 30 y 109 mg/L con una media de 61.33 mg/L.

Analizando los resultados del análisis del agua del estanque 1, para las variables temperatura, pH y nitratos y para el caso del estanque 2, la temperatura, pH y transparencia (Cuadro 9), concluimos que estas variables se encuentran entre los intervalos permisibles para el cultivo de camarón según Hirono (1983); Clifford (1994); Lee y Wickings (1992) y SENASICA (2003). Investigaciones realizadas por Valenzuela-Quiñonez *et al.* (2010) fueron adecuados en los valores registrados de temperatura, pH y nitratos para el cultivo de esta especie y semejantes con el reportado en este estudio. Por otra parte, estudios realizados por Cervantes-Cervantes (2011) reportaron que la temperatura, pH son adecuados y se asemejan a los reportado en este trabajo.

El oxígeno disuelto en el estanque 1 y 2 presentó valores menores a 4 mg/L, estos valores son bajos de acuerdo con lo recomendado para el cultivo de camarón (Clifford, 1994; Hirono, 1983; Lee y Wickings, 1992; SENASICA, 2003; Sonnenholzner, 2014 y Hernández-Gurrola, 2016), lo cual coincide con lo reportado por Martínez-Cordova (1998) y que también pudiera ser atribuido a las condiciones climatológicas y a una alta concentración de materia orgánica acumulada, la cual favoreció la multiplicación de microorganismos y algas en este cuerpo de agua y como consecuencia de esto se presenta un crecimiento lento del camarón (Boyd *et al.*, 2001; Alpuche *et al.*, 2005; Sonnenholzner, 2014; Hernández-Gurrola, 2016), y una mayor posibilidad a contraer enfermedades (Jiménez-Guzmán, 2009).

Egna y Boyd (1997) y Hernández-Gurrola (2016) mencionan que el oxígeno disuelto disminuye durante el ciclo de cultivo debido principalmente al incremento de la biomasa de camarón, ya que el organismo consume más oxígeno para la respiración y para la oxidación de compuestos metabólicos. Además, si la temperatura se incrementa, ocasiona que la solubilidad del oxígeno disminuya (Boyd, 2001).

Asimismo, en este mismo estanque 1, el amonio (N-NH<sub>3</sub>) osciló valores mayores a 0.1, el pH presentó una ligera variación de 0.184, la transparencia obtuvo valores menores a 25 cm, (Cuadro 7), la alcalinidad presentó también concentraciones mayores al rango óptimo, el contenido de CaCO<sub>3</sub> en el agua fue mayor a 120 mg/L (SENASICA, 2003) (Cuadro 9), esta última variable pudiera estar relacionado con la cal hidratada que se utilizó con la finalidad de eliminar o inhibir la proliferación del plancton en la columna de agua y a su vez minimizar los valores altos de amonio en el estanque 1. De acuerdo con investigaciones realizadas por Limsuwan (2005) y Ching (2007),

para lograr un óptimo crecimiento y buena supervivencia, la alcalinidad en un estanque de cultivo de *L. vannamei*, debe estar entre 80 a 100 mg/L, o entre 90 a 120 mg/L, (SENASICA 2003), esta variable tiene mucha relación con el pH, ya que cambios fuertes de pH pueden causar estrés, bajo crecimiento e incluso mortalidad en el camarón.

Estudios realizados por Kungvankij y Chua, (1986) y Hernández-Gurrola (2016) demostraron que una exposición prolongada de amoníaco de 0.45 mg/L NH<sub>3</sub> reduce el crecimiento del camarón en un 50%. Por otra parte, Boyd (1989) encontró que a una exposición corta (24-72 horas) con concentraciones entre 0.4 y 2.0 mg/L es letal para los camarones juveniles y adultos de *L. vannamei*.

Por otro lado, Boyd (2001) menciona que una concentración óptima de NH<sub>3</sub> para *L. vannamei* debe ser <0.1 mg/L, lo que coincide con lo reportado otros autores (Clifford, 1994); Hirono, 1983), Lee y Wickings, 1992 y SENASICA, 2003, Cuadro 9). En un estudio realizado por Hernández-Gurrola (2016) reportó niveles de NH<sub>3</sub> que no sobrepasaron los 0.067 mg/L, lo que no representó riesgo alguno para el crecimiento y la supervivencia del camarón. Durante este estudio, los niveles de NH<sub>3</sub> sobrepasaron las concentraciones óptimas >0.1 mg/L, recomendado para el cultivo de camarón tanto en el estanque 1, como en el estanque 2. En ese sentido Boyd (1982) y Hernández-Gurrola (2016) mencionan que, entre el agua, el amonio no-ionizado existe en un equilibrio que depende del pH y la temperatura con el ion amonio.

La alta concentración de amonio encontrado en los dos estanques se debe principalmente al exceso de materia orgánica, de desechos de (heces y alimento no consumido) en descomposición (Godínez *et al.*, 2011), creando problemas de estrés en los camarones (Jiménez-Guzmán, 2009). Los nitritos que se encontraron fueron mayores al recomendado de acuerdo con SENASICA (2003) y esto se debe a la nitrificación del amonio por bacterias aeróbicas autotróficas a nitratos. La toxicidad de estos desechos está en función principalmente del pH, temperatura, alcalinidad, salinidad; observándose que se incrementó el efecto tóxico conforme la salinidad del agua es menor. Esto se debe a la acción que presenta el ión cloro contra estos productos nitrogenados (Godínez *et al.*, 2011).

En el estudio realizado por Hernández-Gurrola (2016) presentó concentraciones de nitrito (0.24 - 0.25 mg/L) ligeramente superiores al límite establecido por Lee y Wickings (1994); Boyd (2001) y SENASICA (2003), lo cual es similar al reportado en el presente estudio. De igual forma algo que coincide con esta investigación, es que, durante la mayor parte del cultivo, los niveles de nitrito se mantuvieron por debajo de dicho rango (Cuadro 9).

Hernández-Gurrola (2016) reportó niveles de nitratos entre 1.52 mg/L y 4.5 mg/L, Boyd (2001) entre 0.2 - 10 mg/L. Sin embargo, Clifford (1994) y SENASICA (2003) el rango óptimo para el cultivo de camarón debe de estar entre 0.4 - 0.8 y 0.14 - 0.59 respectivamente. Por lo tanto, durante la mayor parte del presente estudio, los niveles de nitratos se mantuvieron por encima de dichos rangos (Cuadro 9). Según Iba *et al.* (2014) la concentración de nitratos está en función de la asimilación fitoplanctónica, junto con los fosfatos, son los principales nutrientes para las microalgas.

**Cuadro 9. Rangos óptimos recomendados para el cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*), utilizada por la SENASICA, (2003), y la comparación con el presente estudio.**

Parámetro	Óptimo (1)*	Óptimo (2)**	Óptimo (3)***	Intervalos establecidos por SENASICA-SAGARPA****	Estudio 2014 (Periodo de lluvias, estanque 1)	Estudio 2014 (Periodo de estiaje, estanque 2)
Temperatura, °C	28 – 30	28 – 32	26 - 30	20-30	29.7 - 37	27.9 – 36.5
Oxígeno disuelto, mg/L	6 - 10 (fondo)		> 5	4 ppm – saturación	0.04 – 13.62	2.64 – 10.4
Salinidad , ‰	15 – 25	5 – 25	15 – 30	20-35 ppm		
pH	8.1 - 9.0	7 – 8	7.8 - 8.3	7.8- 8.3	7.5 - 8.40	6.5 – 8.5
Alcalinidad	100 – 140			90-120 mg/l	215 – 285	160 - 220
Disco Secchi , cm	35 – 45	> 30		25-50 cm	17 – 24	22 - 30
Amonio total a, mg/L	0.1 - 1.0					
Amonio no-ionizado (N-NH <sub>3</sub> ), mg/L	< 0.1	< 0.1	0.09 - 0.11	< 0.12 mg/ l	0.01 – 1.0	0.01 – 0.41
Sulfuro de hidrógeno total b, mg/l	< 0.1					
Sulfuro de hidrógeno no-ionizado (H <sub>2</sub> S), mg/L	< 0.005					
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> ), mg/L	< 1.0	2 – 3	< 0.2 - 0.25	< 0.1 mg/l	0.033 - 0.105	0.02 – 0.65
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ), mg/L	0.4 - 0.8				0.14 - 0.59	0.10 – 1.5
Nitrógeno inorgánico total c, mg/L	0.5 - 2.0					
Nitrógeno total, mg/L						
Silicato, mg/L	2.0 - 4.0					
Fósforo reactivo (PO <sub>4</sub> ), mg/L	0.1 - 0.3	1.5 - 2.5				
Clorofila a, µg/L	50 – 75					
Sólidos suspendidos totales, mg/L	50 – 150					
Sólidos disueltos totales, mh/L						
Potencial redox (agua), mV	500 – 700					
Potencial redox (fondo), mV	400 – 500					
Fósforo total. mg/L						
Dureza mg/L					43 – 500	30 - 109

**Fuente:** \*Clifford (1994); \*\*Hirono (1983); \*\*\*Lee y Wickings (1992) y el \*\*\*\*Manual de Buenas Prácticas de Producción de Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria. 2003.

## CONCLUSIONES

La calidad del agua del estanque 1, la temperatura, pH y nitratos y para el caso del estanque 2, la temperatura, pH y transparencia, estas variables de acuerdo al Cuadro 9, se encuentran entre los

intervalos permisibles para el cultivo de camarón. En la mayoría de los parámetros ambientales se mantuvieron fuera de los rangos óptimos recomendados para esta actividad, para el estanque 1, oxígeno disuelto, alcalinidad, transparencia, amonio, nitritos, dureza; para el estanque 2, oxígeno disuelto, alcalinidad, amonio, nitritos, nitratos y dureza. El oxígeno disuelto y el amonio son condicionantes para el crecimiento de los organismos, pero se debe tomar en cuenta que el estanque es un ecosistema lenticó. En ese sentido, el aumento o la disminución de algunos parámetros representan una correlación que puede ser positiva o negativa entre estos, por lo que es importante monitorear las variables antes mencionadas. Por otra parte, ante una disminución de amonio y nitritos, se incrementa el crecimiento de los organismos y un aumento en la producción, además al incrementarse el oxígeno, temperatura y transparencia se observa también un aumento de crecimiento de los camarones cultivados. Con respecto al aumento del oxígeno disuelto, se observó un incremento en el crecimiento de los camarones, un incremento de temperatura involucra una disminución del pH, lo que genera condiciones de acidificación del medio, lo cual a su vez repercute en el crecimiento de los organismos.

Concluyendo que las variables son similares en ambos estanques y periodo de producción en el crecimiento y rendimiento del camarón y que no depende de la estación climática (lluvias y estiaje). Identificándose dos grupos de variables controlables (oxígeno disuelto, turbidez, pH, alcalinidad, dureza, amonio, nitritos y nitratos) y grupos de variables no controlables (temperatura y el periodo de cultivo, lluvias y estiaje). Las variabilidades fisicoquímicas del agua para cultivo de camarón, son independientes al periodo de estiaje y de lluvias, pero dependen del tipo de manejo de los estanques, por lo que los rendimientos de producción, así como el control de enfermedades dependerán en mayor medida de las buenas prácticas acuícolas. En este sentido es importante realizar estos estudios ya que contribuyen a encontrar una relación entre las variables, lo que permitirá aumentar los rendimientos de producción, y a su vez la competitividad de las pequeñas y medianas empresas camaronícolas. Por otra parte, en el cultivo de camarón, la medición de parámetros y registro controlado de los mismos es importante, ya que esto permitirá seleccionar el tipo de manejo que se debe aplicar en los estanques de cultivo, ya que un apropiado seguimiento de las mediciones permitirá llevar a cabo buenas prácticas acuícolas y salud de los organismos, y marcará la diferencia en los resultados de producción. Sin embargo, es necesario realizar más estudios sobre el comportamiento de los factores físico químicos del agua en cultivos y determinar la relación entre esto para evitar un impacto adverso en la salud de los camarones, por lo cual, estos resultados serán de gran ayuda para prevenir enfermedades y mortalidad mediante un manejo adecuado de la calidad del agua en los sistemas semi-intensivo e intensivo de cultivo de camarón.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de este trabajo de investigación agradecen a los Ingenieros Pedro de los Santos Parra y Pablo de los Santos Parra, representantes de Granja Acuícola de la Sociedad Cooperativa Pesquera “El Camarón Dorado” S. C. de R. L. de C. V., ubicada en la localidad de San Nicolás, Municipio de Coyuca de Benítez, Gro., por las facilidades y el apoyo para que se realizará.

### **LITERATURA CITADA**

Agurto-Montes, M. F. 2009. Análisis estadístico exploratorio de las variables físicas que inciden en el crecimiento del camarón. Caso: “*Litopenaeus vannamei*”. Tesis de Ingeniería en Estadística Informática. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 130 p.

- Alpuche J., A. Pereyra y C. Agundis. 2005. Respuestas bioquímicas de camarones marinos a factores ambientales. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria 6(5): 1-10.
- Anaya-Rosas, R. E. y L. F. Bückle-Ramírez. 2012. Cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en un Sistema con Agua de Mar Recirculada, como alternativa a los cultivos Semi-Intensivos Tradicionales. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud 14(3): 16-24.
- Anongponyoskun, M., A. Choksuchart, J. Salaenoi y P. Aranyakananda. 2012. Dissolved Oxygen Budget for Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Culture in Earthen Ponds. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 46: 751-758.
- Arabella, E.; J. Vázquez, L. Pérez, R. Martínez, J. Repetto, F. Rodríguez, M. Rendón, y M. Serralde, 1984. Taller del cultivo del camarón *Penaeus stilirostris*, Universidad de Sonora. Sygma Gráfica S. A. de C. V. p 47
- Arzola-González, J. F., L. M. Flores-Campaña, A. Izabal-Ceja y Y. Gutiérrez-Rubio. 2008. Crecimiento de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en un estanque rústico a baja salinidad. Revista AquaTIC (28) 8-15.
- Boyd C. E., M. Haws y C. Boyd, 2001. Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica. Managua: Imprenta UCA, 1-30. (Consultado: 12/04/2018). Disponible en: <http://www.cesasin.com.mx/>
- Boyd, C. E. y T. Hanson. 2010. Dissolved-Oxygen Concentrations in Pond Aquaculture. Global Aquaculture Advocate 13: 40-41 p.
- Boyd, C. E. 1982. Water quality management for pond fish culture. Elsevier Science Pub Co. Primera Edición. Amsterdam. 318p.
- Boyd, C. E. 2001. Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. En: Haws, M. C., Boyd, C.E. (eds.). Métodos para Mejorar la Camaronicultura en Centroamérica. Editorial-Imprenta UCA, Managua, Nicaragua. 24-25p.
- Boyd, C. E. 2002. Estándares de la calidad del agua: amoniaco de nitrógeno total. Boletín NICOVITA 7(1): 1-5.
- Boyd, C. E. 1989. Water quality management and aeration in shrimp farming. Alabama Agricultural Experiment Station. Primera Edición. Birmingham, Alabama. 83p.
- Burford, A. M. y K. C. Williams. 2001. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding Aquaculture 198: 79-93.
- Carrasco-Escalante, J. C., León-Balderrama, J. I., y Rojas-Méndez, D. 2018. Análisis de las Capacidades de Absorción Como Determinante Clave para la Competitividad en las PYME'S Camaronícolas. En el Litoral del Norte de Sinaloa. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A. C. Coeditores, México.
- Cervantes-Cervantes, C. M. 2011. Efecto de la Salinidad sobre algunas variables Bioquímicas, Inmunológicas, fisiológicas y productivas del Camarón *Litopenaeus vannamei* cultivado experimentalmente. Tesis de Maestría Recursos Naturales y Medio Ambiente. Centro Interdisciplinarios de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional. Guasave, Sinaloa, México. 64 p.
- Chen-Chu, J. C., P. Chung-Liu y L. Shun-Chiang. 1990. Toxicity of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. Aquaculture 89: 127-137.
- Ching C, A. 2007. La alcalinidad en el agua de cultivo del camarón de mar *Litopenaeus vannamei*. Nicovita, Edición Octubre-Diciembre 2005. (Consultado: 12/04/2018). Disponible en: <file:///C:/Users/Digital/Downloads/IDocSlide.ComLA%20ALCALINIDAD%20EN%20EL%20AGUA%20DE%20CULTIVO%20DEL%20CAMAR%C3%93N%20DE%20MAR%20Litopenaeus%20vannamei.pdf>

- Clifford, C. H. 1994. El manejo de estanques camarones (Un caso de estudio sobre el manejo de estanques de camarón) pp 1-39. En Zendejas-Hernández. J. (Ed) Memoria del Seminario Internacional de Camaricultura en México Camarón. Ralson purina Internacional. Sinaloa, México.
- COSAEG 2014. Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero. Plan de Trabajo 2014.
- Dong-Huo J. A., L. Lawrence, W. H. Neill y H. Gong. 2000. Effects of temperature and salinity on nitrogenous excretion by *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 253: 193-209.
- Egna, H. S. y C. E. Boyd. 1997. Dynamics of Pond Aquaculture. CRS Press. Primera Edición. Boca Raton, Florida. 472p.
- Erchao, L., C. Liqiao, Z. Ceng, C. Xuemin, Y. Na, L. Qiuming, y G. Jian. 2007. Growth, body composition, respiration and ammonia nitrogen tolerance of juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities. *Aquaculture* 265: 385-390.
- Esparza-Leal, H. M., C. M. Escobedo-Bonilla, R. Casillas-Hernández, P. Álvarez-Ruiz, G. Portillo-Clark, R. C. Valerio-García, J. Hernández-López, J. Méndez-Lozano, N. Vibanco-Pérez y F. J. Magallón-Barajas. 2009. Detection of white spot syndrome virus in filtered shrimp-farm water fractions and experimental evaluation of its infectivity in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Revista Aquaculture* 292: 16–22
- Frías-Espéricueta, M. G. y F. Páez-Osuna. 2001. Toxicidad de los compuestos nitrogenados en camarones. En: Páez-Osuna F. (ed.). Camaricultura y Medio Ambiente. UNAM y el Colegio de Sinaloa. México, D.F. 253p.
- Godínez-Siordia, D. E., M. C. Chávez-Sánchez y S. Gómez-Jiménez. 2011. Acuicultura epicontinental del camarón blanco del pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(1) 55-62
- Godínez-Siordia, D. E., O. González-Ochoa, A. Hernández-Díaz, A. García-Triana, J. Gamboa-Delgado, J. G. Arce-Ibarra, y E. M. Godínez-Siordia. 2012. Principales patógenos virales de camarón en América y su relación con ambientes de baja salinidad. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable* 6(3): 61-69.
- Guerrero-Olazarán, M., E. L. Cab-Barrera, L. J. Galán-Wong y J. M. Viader-Slavado. 2004. Biotecnología de Proteínas Recombinantes para la aplicación en acuicultura. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Pp. 16-19.
- Hernández-Gurrola, J. A. 2016. Caracterización de la Calidad del Agua en un sistema Intensivo de Cultivo de Camarón Blanco *Litopenaeus vannamei*, en condiciones de Alta Salinidad con recambio de Agua Limitado. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 119 p.
- Hirono, Y. 1983. Preliminary Report On Shrimp Culture Activities In Ecuador. *Journal of the World Mariculture Society* 14: 451–457.
- Iba, W., M. A. Rice y G. H. Wikfors. 2014. Microalgae in Eastern Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) hatcheries: A Review on Roles and Culture Environments. *Asian Fisheries Science* 27: 212-233.
- Izabal C. A. 2004. Crecimiento de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en condiciones de baja salinidad en un estanque rústico. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias del Mar, UAS. México.
- Jiann-Chu, C. y N, Fan-Hua. 1994. Comparisons of oxygen consumption and ammonia-N excretion of five *penaeids*. *J. Crusact. Biol.* 14: 289-294.

- Jiménez-Guzmán, F. 2009. Técnica de Diagnóstico Presuntivo para Enfermedades de Camarón. Curso Teórico Práctico, Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero, México, del 27 al 30 de Abril 2009., 115 p. (Edición previa).
- Kungvankij, P. y T. E. Chua. 1986. Shrimp culture: pond design, operation and management. En: Pudadera Jr, B.J., Corre, G., Borlongan, E., Tiro Jr, L.B., Potestas, I.O., Taleon, G.A., Paw, J.N. (eds.). NACA Training Manual Series No. 2. Network of Aquaculture Centres in Asia (NACA), Bangkok, Thailand. 65p.
- Lara-Espinoza, C. L., A. Espinosa-Plascencia, M. Rivera-Domínguez, K. R. Astorga-Cienfuegos, E. Acedo-Félix y M. del C. Bermúdez-Almada. 2015. Desarrollo de camarón *Litopenaeus vannamei* en un sistema de cultivo intensivo con biofloc y nulo recambio de agua. Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura (AquaTIC)43: 1-13.
- Lee D. O. C. y Wickins J F. 1992. Crustacean farming: ranching and culture. First Edition. Blackwell Sci. Publ., Oxford, U.K., 392 p.
- Limsuwan, C. 2005. Cultivo intensivo de camarón blanco. Boletín Nicovita. Edición Octubre-Diciembre 2005.
- Martínez-Cordova, L. R. 1998. Comportamiento y manejo ecológico de estanques de cultivo de camarón con bajo recambio de agua. Tesis de Doctorado en Ciencias, Usos, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B. C. S. México. 108 p.
- Molina C. y Orellana-Tandazo P. 2001. Efecto de la salinidad y la relación proteína/energía, en el rendimiento de *L. vannamei*. Panorama Acuícola 6(5): 53.
- Moreno-Figueroa, L. D. 2014. Cultivo intensivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en un sistema foto-autotrófico de bajo recambio de agua. 9th International Aquaculture Forum y LACQUA 14. Guadalajara, México.
- Orellana-Tandazo, A. P. 2000. Efecto de diferentes niveles de salinidad y balances proteína/energía en el crecimiento del *Penaeus vannamei*. Tesis de Ingeniero Acuicultor. Universidad Técnica de Machala. Machala el Oro. Ecuador. 105 p.
- Palafox F. y Soto Z. M. 2001. Relación entre la producción y algunas variables de calidad de agua en un cultivo semi-intensivo (*Litopenaeus vannamei*) en una granja comercial. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias del Mar, UAS. México.
- Ponce-Palafox, J.C., C.A. Martínez-Palacios, L. G. Ross. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp *Penaeus vannamei* Bonne 1931. Aquaculture 157: 107-115.
- Rodríguez-Villa, A. M. 2013. Cultivo de Camarón Blanco *Penaeus vannamei* en México. Tesis de Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Universidad Autónoma Agraria Anton o Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.
- SAGARPA. 2014. Informe de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subdelegación de Pesca del Estado de Guerrero.
- Santos, S. 2008. Panduan lengkap menguasai SPSS 16. Elex Media Komputindo.
- SENASICA. 2003. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. En Manual de Buenas Prácticas de Producción de Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria. pp 38
- Sonnenholzner, S. 2014. Oxígeno disuelto y su importancia en acuicultura: sistemas de aireación para mejorar la productividad de los sistemas acuícolas. IV Congreso Internacional de Acuicultura-ESPE 2014, Quito, Ecuador.
- Valenzuela-Quíñonez W., G. Rodríguez-Quiroz, y H. M. Esparza-Leal. 2010. Cultivo intensivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone) en agua de pozo de baja salinidad como

alternativa acuícola para zonas de alta marginación. Ra Ximhai. Revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible 6(1): 1-8.

## LOS SUELOS DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA<sup>1</sup>

### [THE SOILS OF CENTRAL VALLEYS OF OAXACA]

Pedro Saúl Vásquez-Rasgado<sup>1§</sup>, Gerardo Rodríguez-Ortiz<sup>1</sup>

TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C. P. 71230. Tel. 01(951) 5170788. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (psvasquezr@gmail.com)

#### RESUMEN

Los valiosos servicios ambientales que aporta el recurso suelo hacen esencial su conocimiento detallado y actualizado para la planificación de su uso sustentable. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue delimitar los grupos de los suelos de la Región de los Valles Centrales de Oaxaca; sus propiedades morfológicas, físicas y químicas, con el apoyo del software QGIS 3.2, se identificaron las unidades de suelo de la región con base en la cartografía edafológica de México del INEGI que emplea el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). Se compilaron 61 perfiles georeferenciados de suelos del Conjunto de Datos de Perfiles de Suelos de la serie I y II a escala 1:250,000. Los datos complementarios sobre sus factores formadores se obtuvieron por sobreposición de capas de geología, geomorfología, y vegetación. La diversidad de los suelos en la región es alta, se delimitaron 10 de los 32 grupos de suelo reconocidos por la WRB. Los grupos de suelo predominantes con base en el porcentaje de la superficie ocupada son: Luvisoles (26.38%); Leptosoles (19.41%); Regosoles (18.54%); Cambisoles (16.44%); Phaeozems (6.47%); Vertisoles (4.50%); Acrisoles (4.12%); Umbrisoles (1.99%); Fluvisoles (1.71%); y Kastañozems (0.44%).

**Palabras clave:** Acrisoles, luvisoles, unidades de suelo, Valles Centrales de Oaxaca, WRB.

#### ABSTRACT

The valuable environmental services that the soil resource provides make essential its detailed and updated knowledge for the planning of its sustainable use. In this context, the objective of the present study was to delimit the groups of the soils of the Region of the Central Valleys of Oaxaca; its morphological, physical and chemical properties. With the support of the software QGIS version 3.2, the soil units of the region were identified based on the edaphological cartography of Mexico of the INEGI that uses the International System Base Referencial World of the Soil Resource (WRB). 61 georeferenced soil profiles were compiled from the Soil Profile Data Set of series I and II at scale 1: 250,000 with morphological characteristics and physicochemical analysis. Complementary data on their formative factors were obtained by overlaying layers of geology, geomorphology, and vegetation. The diversity of soils in the region is high, 10 of the 32 soil groups recognized by the WRB were delimited. The predominant soil groups based on the percentage of the occupied area are: Luvisols (26.38%); Leptosols (19.41%); Regosols (18.54%); Cambisols (16.44%); Phaeozems (6.47%); Vertisols (4.50%); Acrisols (4.12%); Umbrisols (1.99%); Fluvisols (1.71%); and Kastañozems (0.44%).

**Index words:** Acrisols, luvisols, soil units, Central Valleys of Oaxaca, WRB.

---

<sup>1</sup> Recibido: 10 de Agosto de 2018

Aceptado: 10 de Diciembre de 2018

## INTRODUCCIÓN

La geografía de los suelos es una de las subdisciplinas de la ciencia más importantes en el sentido teórico y práctico. El objetivo teórico de la geografía de los suelos es entender y explicar las reglas de distribución de suelos y sus propiedades en la superficie de la tierra. La aplicación práctica incluye la cartografía de suelos para el inventario de recursos edáficos, la interpolación de los datos espaciales y la planeación del uso y manejo de los suelos (Krasilnikov, 2011; Bocco, *et al.*, 2005; Cruz-Flores & Etchevers-Barra, 2011). Es de importancia para el estudio de manejo de cuencas hidrográficas, impacto ambiental y servicios ambientales como la captura de carbono (Lehmann y Kleber, 2015;). En especial territorios montañosos como el estado de Oaxaca, se establece la distribución espacial y vertical de los elementos climáticos (insolación, temperatura, presión atmosférica, vientos, precipitaciones, humedad relativa y otros, que, a su vez, determinan el escurrimiento superficial y subterráneo de las aguas y, por ende, las condiciones de formación de los diferentes suelos y de los tipos de ecosistemas (Badía *et al.*, 2013; Ortiz-Pérez *et al.*, 2004)

Los primeros estudios cartográficos sistemáticos de suelos de Oaxaca fueron publicados en el Atlas Nacional del Medio INEGI (1980). a escala 1:1,000,000 empleando la antigua clasificación FAO UNESCO por el Instituto Nacional de estadística Geografía e Informática (INEGI, 1980) utilizada hasta 1998. El estudio más reciente de suelos (Alfaro, 2004), se realizó a nivel estatal y en el cual se mencionan las características diagnósticas general 16 grupos de suelo: Acrisol, Arenosol, Cambisol, Castañozem, Feozem, Fluvisol, Gleysol, Litosol, Luvisol, Nitosol, Planosol, Regosol, Rendzina, Solochak, Vertisol y Xerosol, según la versión de la clasificación mundial (FAO-ISRIC 1SSS, 1998; Soil Survey Staff, 1999).

En la actualidad ya existe información digital disponible para todo el país de las cartas de suelos a escala regional 1:250,000, de acuerdo con la clasificación WRB (INEGI, 2007a; INEGI, 2007b) así mismo se cuenta con la descripción de los perfiles de suelos georeferenciados del país que incluyen sus propiedades físicas y químicas. Sin embargo, esta información está poco disponible para su uso aún para personal técnico no especializado, porque se encuentra digitalizada en cartas separadas y la información de perfiles esta codificada en términos técnicos. Por esta razón en el presente trabajo se realiza una caracterización de los suelos de la Región de Valles Centrales de Oaxaca procesando la información edafológica actual para que pueda servir como apoyo fundamental a las personas o instituciones que tomen decisiones en la planeación y ejecución de acciones encaminadas al uso óptimo del recurso suelo. así como marco de referencia para la prevención de desastres ecológicos y degradación ambiental, ocasionados por la sobreexplotación o uso inadecuado del suelo (Bautista *et al.*, 2015; Palma-López *et al.*, 2017; UABJO SEMARNAT, 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Región de estudio

La Región Administrativa de los Valles Centrales de Oaxaca (RAVCO) comprende 7 distritos (Centro, Ejutla, Etlá, Ocotlán, Tlacolula, Zaachila y Zimatlán) y 121 municipios y se encuentra comprendida entre 16° 19' y 17° 41' N; y los 95° 54' y 97° 14' W. Abarca una superficie de 934,270 ha. La morfoestructura de los valles es de carácter tectónico, lo que es muy evidente en los horsts del flanco norte (Ferrusquia-Villafranca, 2005). El relieve de la región de Valles Centrales se originó a partir de eventos espectaculares que ocurrieron durante el terciario y que de cierta forma cambiaron las condiciones climáticas de todo el Estado, la formación de la Sierra

Juárez y de la Sierra Madre del Sur, a lo largo de la costa oaxaqueña las evidencias encontradas hasta hoy sugieren que la Sierra de Juárez (incluyendo parte de la Sierra de Zongolica al norte, y las sierras Cuicateca Mazateca se levantaron al menos 2,100 metros con respecto a los valles centrales, en los últimos 14 millones de años a partir del Mioceno medio al reciente, este levantamiento fue ocasionado por la falla Oaxaca, que corre a lo largo de la base de la margen occidental de las sierras (Centeno-García, 2004).

### **Acopio, procesamiento y análisis de datos de suelos**

La RAVCO se delimitó con base en el mapa de distritos y municipios empleada por el Gobierno del Estado de Oaxaca. La información edafológica provino de dos fuentes: 1. Las cartas edafológicas (E1409 (Oaxaca) y la E1412 (Zaachila)), a escala 1:250,000 serie II en proyección UTM, y 2. El Conjunto de datos vectoriales de perfiles de suelos a escala 1:1,000,000 en proyección Cónica Conforme de Lambert (CCL) (INEGI, 2007). Con la ayuda del software QGIS 3.2, ambas cartas se unieron en una sola capa vectorial con proyección WGS 84 Zona 14 N posteriormente se sobrepuso la capa de la RAVCO para obtener las unidades cartográficas de los Grupos de Referencia de la RAVCO. La capa de perfiles se recortó de acuerdo con los límites de la RAVCO obteniéndose 60 perfiles de suelos de valles centrales clasificados de acuerdo con el sistema WRB primera versión (IUSS Working Group WRB, 2015). De éstos 60 perfiles de INEGI de los cuales 15 contaban con análisis fisicoquímicos. Se complementó la información con 11 perfiles más que el autor realizó como puntos de apoyo en las principales geoformas de la región, en las cuales se describió las características morfológicas, estos sitios de muestreo se ubicaron con GPS. Los datos de propiedades físicas y químicas de los perfiles fueron interpretados de acuerdo con los estándares establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). La delimitación de los grupos de suelo se realizó apoyándose en criterios geomorfológicos que se han empleado recientemente en nuestro país (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Con este propósito se empleó la información geomorfológica se obtuvo del mapa de unidades mayores y menores originada por el Instituto de Geografía de la UNAM generada para Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Territorio del Estado de Oaxaca (UABJO SEMARNAT, 2012). Otros datos complementarios como altitud y pendiente fueron obtenidos de modelos de elevación digital de las Hojas E14-9 y E14-12.

## **RESULTADOS**

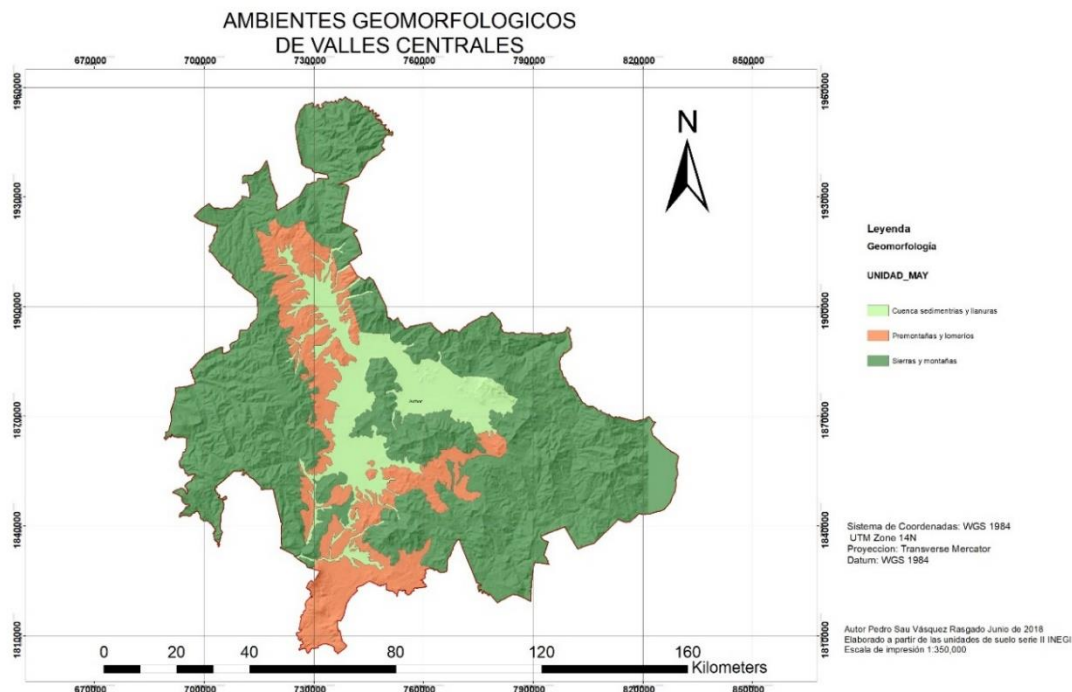
### **Ambientes geomorfológicos**

Se identificaron tres grandes ambientes geomorfológicos, 1). Sierras y Montañas; 2). Premontañas y lomeríos; y 3). Cuencas sedimentarias y llanuras (Figura 1). La importancia de estos ambientes radica en que, en cada uno de ellos, los factores formadores de suelos son diferentes, lo cual a su vez genera procesos edáficos que repercuten en la morfología del perfil del suelo. El mapa de los ambientes geomorfológicos del estado permite una mayor explicación de la distribución espacial de los edafopaisajes y la correspondencia entre ambientes geomorfológicos con la cubierta vegetal.

Las Sierras y montañas poseen una altitud de 500 a 2800 msnm. Está constituida por un complejo orográfico de rocas del cretácico como la metamórfica cataclasita y sedimentarias, sus partes más altas rebasan los 2000 msnm tienen un clima templado húmedo con una precipitación entre 1000 a 2000 mm y su vegetación principal es bosque de coníferas. En las partes más bajas, situadas entre los 500 y 800 msnm, la precipitación se encuentra entre 500 y 800 mm; su clima va

de árido cálido a templado subhúmedo y su vegetación predominante es de bosque de encino y selva caducifolia.

Los lomeríos y premontañas están formadas rocas metamórficas (gneiss del precámbrico) con un estilo estructural de bloques con altura relativa menor de 200 y hasta 500 m, que se extiende en forma paralela a las sierras y montañas, su altitud va de 1,800 a 2,000 msnm. Sus climas predominantes son: semicálido templado subhúmedo (A)C(w<sub>0</sub>); y templado subhúmedo, su precipitación anual está entre 700 y 800 mm. Su vegetación es de bosque de encino y pastizal.



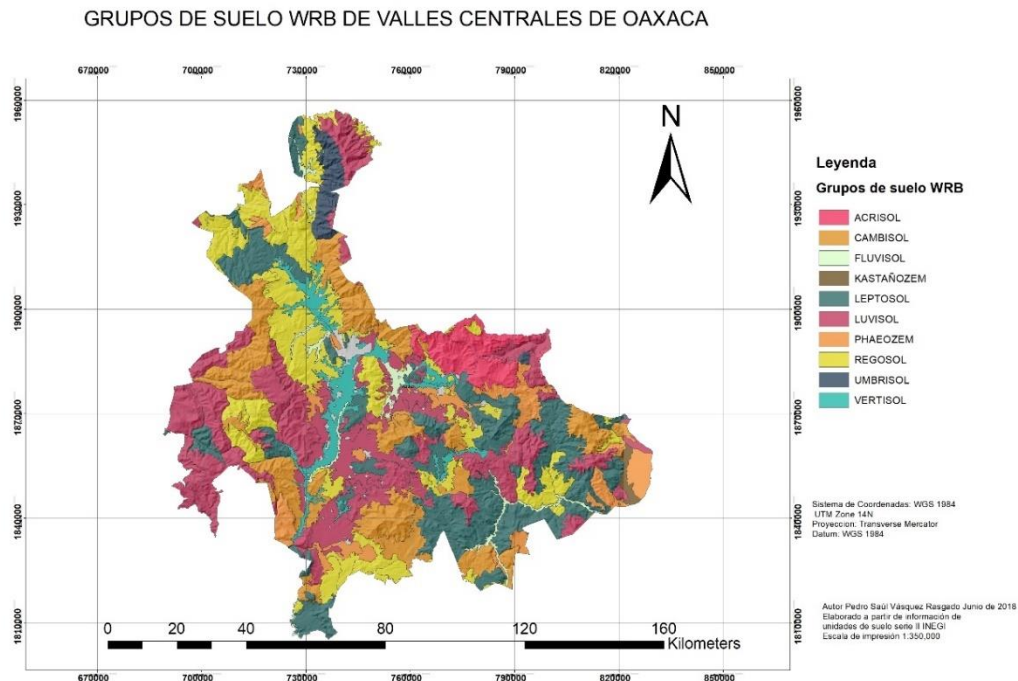
**Figura 1. Ambientes geomorfológicos de Valles Centrales de Oaxaca.**

Las Cuencas sedimentarias y llanuras. Están compuestas principalmente por materiales aluviales del cuaternario. Se distinguen tres facciones: Cuenca noroeste, cuenca sureste y llanuras del sur. La cuenca noroeste es conocida localmente como “Valle de Etna”, presenta un relieve acumulativo en cuenca sedimentaria continental, con altitudes entre 1,600 y 1,800 msnm, se extiende desde el distrito de Etna, hasta el distrito del Centro en dirección noroeste sureste. Su clima principal es semicálido templado subhúmedo (A)C(W<sub>0</sub>); la precipitación anual está entre 700 y 800 mm. El uso del suelo es agrícola y pecuario y una importante zona conurbada de la ciudad de Oaxaca. Las llanuras y Planicies del sur, llamadas localmente “Valle de Zaachila-Zimatlán-Ocotlán”, se extiende de noreste suroeste desde el distrito del Centro al distrito de Ejutla. Su morfología es de llanuras sedimentarias y/o planicies acumulativas de origen lacustres, su altitud varía de 1,470 a 1,600 msnm.

### **Grupos de suelos dominantes en la Región**

De los 32 grupos de suelos de referencia de la WRB 2014, en la región de estudio se registran 10 grupos: 1. Acrisoles; 2. Cambisoles; 3. Fluvisoles; 4. Kastañozems; 5. Leptosoles; 6. Luvisoles; 7.

Phaeozems; 8. Regosoles; 9. Umbrisoles y 10. Vertisoles (Figura 2). Estos suelos corresponden a 10 de las 16 unidades registradas para todo el Estado (Alfaro, 2004). Luvisoles, leptosoles, regosoles y cambisoles son los más abundantes asociados con bosque de coníferas, en tanto que phaeozems, vertisoles, acrisoles, umbrisoles, fluvisoles y kastañozems ocupan menor superficie se asocian con bosque de encino y selva caducifolia. Los suelos con uso agrícolas son principalmente vertisoles y, en menor medida fluvisoles. Los factores formadores son muy diversos.



**Figura. 2. Suelos dominantes en la región de Valles Centrales de Oaxaca.**

La precipitación pluvial anual se encuentra en un rango de 500 a 1,200 mm. El material geológico incluye ígneas, sedimentarias y metamórficas de diferentes eras, desde gneiss del precámbrico. sedimentarias y metamórficas del cretácico, ígneas del terciario y aluviones del cuaternario. A continuación, se describen los principales grupos de suelo de la región, de acuerdo con el ambiente geomorfológico y de mayor a menor grado de desarrollo, indicando características diagnósticas, físicas y químicas para los perfiles ubicados en la región interpretando sus características fisicoquímicas con base en los criterios establecidos en la norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2002).

### **Suelos predominantes en las sierras y montañas**

En esta área lo suelos de acuerdo con su grado de desarrollo son: Acrisoles, luvisoles, cambisoles, umbrisoles, phaeozems, kastañozems y leptosoles (Cuadro 1). Los acrisoles se localizan en la parte este de las sierras y montañas en el distrito de Tlacolula, ocupan una superficie de 38,107 ha equivalentes al 4.12 %. Son suelos meteorizados con baja saturación de bases en alguna

profundidad. En la región se distribuyen sobre rocas del terciario (tobas ácidas y andesitas); la vegetación asociada es bosque de coníferas, y la precipitación varía de 700 a 1000 mm anuales. Su altitud varía desde 1,800 hasta 2,200 msnm. El Acrisol umbrihúmico crómico registrado por INEGI posee una textura superficial franco arenosa, un horizonte árgico (B2) con acumulación de arcilla, un pH moderadamente ácido, capacidad de intercambio catiónico bajo, saturación de bases menor del 50 % y un contenido de materia orgánica alto.

Los luvisoles se encuentran ampliamente distribuidas en la región ocupando el 26.38% de su superficie con 243,766 ha. Predominan en sierras y montañas, y en menor medida, en premontañas y lomeríos, así como en cuencas y llanuras. Coinciden con diferentes tipos de roca ígneas sedimentarias y metamórficas, la vegetación varía de pastizales, bosque de encino hasta bosque de coníferas; la precipitación varía de 700 a 2,000 mm anuales. Son suelos de colores rojizos que poseen un horizonte árgico (horizonte B2) el cual tiene un mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla). El Luvisol endoléptico cutánico reportado, muestra acumulación de arcilla en el horizonte B, y, a diferencia de acrisol, la saturación de bases es mayor del 50%. Posee además un pH superficial fuertemente ácido y un contenido de materia orgánica alto.

Los cambisoles se encuentran en lomeríos y premontañas poseen una superficie de 151,888 ha (16.44%); asociados con bosque de encino, sobre gneiss y cataclasita, en un rango de 700 a 1000 mm de precipitación anual. En la región solo existe un registro de un perfil del cual no se tomaron muestras para determinar sus propiedades físicas y químicas, solo se indica que presenta un horizonte A ócrico y 0-10 cm de profundidad, de textura franco arenosa; color en húmedo 10YR3/2 (café); estructura en bloques subangulares tamaño medio y desarrollo débil; presenta un horizonte B cámbico de 10-51cm, donde la transformación del material parental es evidente por la formación de estructura en bloques angulares y decoloración principalmente parduzca, color en húmedo 7.5YR4/4 (café), incremento en el porcentaje de arcilla, su textura es arcillosa; su estructura presenta un desarrollo débil. y posee un horizonte C de 51-101 cm.

Los umbrisoles se distribuyen exclusivamente sobre sierras y montañas del norte, bajo bosque de coníferas y sobre rocas metamórficas (cataclasitas), su superficie es de 18,415 ha (1.99%). Corresponden a suelos en los cuales se ha acumulado materia orgánica dentro del suelo superficial mineral. Los umbrisoles a diferencia de kastañozems y Phaeozems poseen una baja saturación de bases. La información de INEGI indica que el perfil corresponde a un umbrisol epiléptico húmico el cual posee una saturación de bases menor del 50 % en su perfil, un pH moderadamente ácido y un contenido un contenido de materia orgánica muy alto.

Los phaeozems se ubican en una altitud de 800 a 1,800 msnm, generalmente sobre tobas ácidas del terciario y en menor medida sobre lutitas y areniscas; se han desarrollado bajo bosques de encino en se encuentra en sierras y montañas, premontañas y lomeríos y cuencas sedimentarias. El perfil registrado en la región corresponde a un phaeozem lúvico húmico con un horizonte superficial (A1), oscuro rico en humus (mólico) y un horizonte B2 árgico (B2t). Posee alta saturación de bases, una textura franca arcillo arenosa, saturación de bases mayor del 50 % en todo su perfil, un pH moderadamente ácido y un contenido de moderado de materia orgánica.

**Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas del perfil de suelos predominantes en Sierras y montañas**

HOR	PROF	R	L	A	CT	pH	CE	MO	CI	SB	Na	K	Ca	Mg
Acrisol umbriúmico crómico, San Miguel Peras. Oaxaca.														
A1	0-19	10	36	54	Ca	5.1	2	5.3	25.8	29	0	0.2	6.3	0.9
A2	19-38	16	32	52	Ca	6.1	2	3.5	22.4	45.7	0	0.1	9.5	0.6
B1	38-71	26	10	64	Cra	6.1	2	0.6	9.0	51.1	0	0.1	4.2	0.3
B2	71-115	34	10	56	Cra	6.1	2	0.5	8.5	43.2	0	0	3.1	0.5
B3	115-150	36	10	54	Ra	6.1	2	0.3	9.0	45.8	0	0.2	3.1	0.8
Luvisol endoléptico cutánico, Santa María Peñoles, Etlá.														
A1	0-24	24	18	58	Cra	4.7	0	1.7	18.5	83.4	0.2	0.4	10.	0.9
B1	24-43	16	38	46	C	5.9	0	0.3	15.3	100	0.2	0.2	19	0.6
B2t	43-73	26	38	36	C	6.1	0	0.3	18.6	100	0.3	0.3	17.	0.3
R	>73	0	0	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phaeozem lúvivo húmico, San Francisco Teixtlahuaca, Etlá														
A1	0-29	24	18	58	Cra	5.5	1	2.4	26.5	65.7	0.1	0.2	14.	2.4
B1	29-39	22	18	60	Cra	6	1	1.6	21.8	91.3	0.1	0.1	17.	2.5
B21t	39-69	42	16	42	R	6	1	1.1	37.5	81.6	0.1	0.2	24.	5.6
B22t	69-89	38	16	46	Ra	5.1	1	0.8	34.5	71.6	0.2	0.1	19.	5.3
B23	89-101	30	14	56	Cra	5.5	1	0.7	35.8	58.7	0.2	0.2	15	5.6
Umbrisol epiléptico húmico, Santa María Teopoxco, Teotitlán														
A1	0-23	20	26	54	Ca	5.2	1	10.2	30.2	44.7	1.7	0.4	10.	1.2
C1	23-36	30	32	38	Cr	5.3	0	0.7	18.3	14.6	0.3	0.1	1.8	0.5
R	>36	0	0	0	NA	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Leptosol réndzico, Matatlán, Tlacolula														
A1	0-23	28	30	42	Cr	7.80	1	2.3	26.4	100	0.1	0.3	25.	1.90
R	>23	0	0	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HOR = Horizonte; PROF= profundidad (cm); R= porcentaje de arcilla; L= porcentaje de limo; A= porcentaje de arena, pH= (H<sub>2</sub>O 1:1); CE= Conductividad eléctrica (dS/m<sup>-1</sup>); MO= porcentaje de materia orgánica; CI= Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>); SB= Porcentaje de Saturación de Bases; Na= Sodio (Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>); K= potasio Cmol(+); Mg=(Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>).

Los kastañozems son suelos asociados con pastizales secos, poseen un horizonte superficial rico en humus como los Chernozems, pero es de menor espesor y no tan oscuro y además muestran acumulaciones de carbonatos secundarios más prominentes. El color castaño-pardo del suelo superficial se refleja en el nombre Kastañozem. INEGI no tiene registrado un perfil en el Estado, la información solo indica que la unidad cartográfica corresponde a un Kastañozem cálcico páquico y se ubica en el distrito de Tlacolula en el municipio de San Pedro Quiatoni, el cual presenta una textura media, fase superficial pedregosa. El término páquico indica que tiene un horizonte mólico o úmbrico grueso (mayor o igual a 50 cm de espesor). Cálcico se refiere a que posee un horizonte con acumulaciones de carbonato de calcio.

Los leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua, extremadamente gravosos y/o pedregosos. En la región ocupan 179,390ha (19.41%). Se distribuyen principalmente en Sierras y montañas, así como en premontañas y lomeríos, abarcan vegetación de pastizales y bosques, en

altitudes de 1,400 a 2,000 msnm desde climas semiáridos a subhúmedos. Los leptosoles incluyen los suelos que en el anterior sistema FAO se denominaban litosoles, y rendzinas que se desarrollan sobre roca calcárea. El perfil registrado por INEGI es un leptosol réndzico que posee una textura franco-arcillosa, saturación de bases del 100 %, un pH medianamente alcalino, un contenido un contenido medio de materia orgánica.

### Suelos predominantes en premontañas y lomeríos

Los regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados presentan un horizonte A ócrico, no son muy someros como los leptosoles, ni arenosos como los arenosoles (Arenosoles) o con materiales flúvicos como los fluvisoles. Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas semiáridas y subhúmedas con gran pendiente y bajo una vegetación de pastizal y bosque de encino. El perfil registrado por INEGI corresponde a un regosol edoléptico éutrico que presenta un horizonte A con 9 cm de profundidad una textura franca arenosa, saturación de bases mayor del 50 % en una parte de su perfil, un pH moderadamente ácido y un contenido alto de materia orgánica. (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Propiedades fisicoquímicas de los suelos predominantes en Premontañas y lomeríos**

Regosol edoléptico éutrico San Miguel Peras, Zaachila														
HOR	PROF	R	L	A	CT	pH	CE	MO	CI	SB	Na	K	Ca	Mg
A1	0-9	20	22	58	Ca	5.2	2	4.5	14	68.9	0	0.3	8.1	1.2
CR1	9-41	12	20	68	Ca	5.9	2	0.6	9.3	57.7	0.1	0.2	3.8	1.3

HOR = Horizonte; PROF= profundidad (cm); R= porcentaje de arcilla; L= porcentaje de limo; A= porcentaje de arena, pH= (H<sub>2</sub>O 1:1); CE= Conductividad eléctrica (dS/m<sup>-1</sup>); MO= porcentaje de materia orgánica; CI= Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>); SB= Porcentaje de Saturación de Bases; Na= Sodio (Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>); K= potasio Cmol(+); Mg=(Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>)

### Suelos predominantes en cuencas sedimentarias y llanuras

En estas áreas predominan vertisoles y fluvisoles (Cuadro 3). Los Vertisoles son suelos muy arcillosos, que se mezclan y poseen una alta proporción de arcillas expandibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan. En la región, se presentan en pendientes menores del 1% y predominan en las llanuras sedimentarias y/o planicies acumulativas de origen lacustres, en los distritos de Zaachila y Zimatlán. Son profundos, muy arcillosos con una saturación de bases mayor del 50 % en todo su perfil, un pH neutro y un contenido un contenido bajo de materia orgánica.

Los fluvisoles comprenden suelos azonales genéticamente jóvenes, en depósitos aluviales. El nombre Fluvisoles originado de sedimentos de ríos; aunque también pueden ocurrir en depósitos lacustres y marinos. El fluvisol endoglético hiperéutrico reportado por INEGI se encuentra en los valles intermontanos de las partes bajas de cuencas sedimentarias, posee una textura arenosa en todo el perfil, saturación de bases mayor del 100 %, un pH moderadamente alcalino y un contenido un contenido muy bajo de materia orgánica.

**Cuadro 3. Propiedades fisicoquímicas de los suelos predominantes en cuencas y llanuras.**

HOR	PROF	R	L	A	CT	pH	CE	MO	CI	SB	Na	K	Ca	Mg
Vertisol pélico mázico, Villa de Zaachila, Zaachila														
A1	0-31	48	20	32	R	7.3	1	1.5	42.8	73.4	0.1	0.4	20.3	10.
A2	31-62	52	20	28	R	7.4	1	1.3	43.5	80.7	0.2	0.2	25.3	9.4
A3	62-93	54	20	26	R	8.2	1	0.8	45.3	84.1	0.1	0.3	26.3	11.
A4	93-125	46	32	22	R	8.4	1	0.3	36.5	100	0.1	0.3	25.6	10.
Ap	0-19	8	24	68	Ca	8.2	1	0.9	12.8	100	0.2	0.4	13.8	2.1
Fluvisol endogléyico hiperéutrico San Sebastián Abasolo, Tlacolula														
A12	19-46	10	12	78	Ca	8.3	1	0.1	10.3	100	0.3	0.2	16.6	1.9
C1	46-86	2	4	94	A	8.4	1	0.1	7	100	0.3	0.1	11.6	1.9
C2	89-125	0	0	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HOR = Horizonte; PROF= profundidad (cm); R= porcentaje de arcilla; L= porcentaje de limo; A= porcentaje de arena, pH= (H<sub>2</sub>O 1:1); CE= Conductividad eléctrica (dS/m<sup>-1</sup>); MO= porcentaje de materia orgánica; CI= Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>); SB= Porcentaje de Saturación de Bases; Na= Sodio (Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>); K= potasio Cmol(+); Mg=(Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>)

## DISCUSIÓN

La región de estudio presenta 10 grupos principales de suelos de la WRB, esto representa una gran diversidad si se considera que, para todo el estado de Oaxaca, se han reportado 16 grupos (Alfaro, 2004) y que otros estados como Yucatán que posee igual cantidad (Bautista *et al.*, 2015), pero con una superficie casi 5 veces mayor; y el Estado de Tabasco con 24,661 km<sup>2</sup> cuenta con 19 grupos mayores de suelos (Palma-López *et al.*, 2017). Esta diversidad de suelos se manifiesta en un mosaico en el que se presentan suelos poco desarrollados como leptosoles hasta altamente desarrollados como los acrisoles. En las sierras y montañas el mosaico de suelos está conformado principalmente por luvisoles y acrisoles asociados con leptosoles, regosoles y cambisoles. En la zona de planicies y lomeríos predominan cambisoles, regosoles, leptosoles y phaeozems; y en la parte baja de cuencas y llanuras se registran vertisoles, phaeozems, luvisoles y fluvisoles.

Esta diversidad encontrada en la región concuerda con otros estudios donde se ha reportado que las regiones montañosas de Oaxaca, particularmente en la sierra sur, se caracterizan por una gran diversidad de suelos en las que se presentan suelos similares alisoles, luvisoles, phaeozems, umbrisoles y cambisoles (García Calderón *et al.*, 2006; Krasilnikov, 2007). La complejidad de la cubierta del suelo en los trópicos y subtropicos húmedos, especialmente en las regiones montañosas, no pueden explicarse completamente por el control climático sobre la formación del suelo, esto es debido principalmente a la complejidad de las condiciones de formación del suelo, material parental, condiciones climáticas, vegetación relieve y procesos geológicos (Krasilnikov, 2011).

La presencia de luvisoles y acrisoles generalmente están asociados a las sierras y montañas con climas húmedos, por lo que su distribución podría atribuirse a una distribución ligada al clima. Sin embargo, en la región se observan también estos suelos en zonas bajas con precipitación entre 500 y 700 mm lo cual es atípico. En Oaxaca la diversidad de suelos se puede explicar en parte por la complejidad del área en cuanto a diferentes procesos geológicos. como la formación de la Sierra Madre del Sur y Sierra Norte de Oaxaca. Los eventos más espectaculares que ocurrieron durante

el Terciario y que de cierta forma cambiaron notablemente las condiciones climáticas (Centeno-García, 2004). Este evento resultó de la intensa erosión hídrica, por un lado, y de la aridización de la parte central del estado, por el otro. La mayoría de las cortezas fueron erosionadas fuertemente. La superficie actual está formada por restos de esas cortezas completas (donde se forman los Acrisoles) o decapitadas hasta la roca, donde se forman leptosoles (Alfaro, 2004)

Los procesos asociados con el relieve, sin embargo, también afectan en forma importante el desarrollo de estos suelos. El tiempo y la erosión contribuyen en la pedodiversidad de las montañas tropicales y subtropicales húmedas y estos factores conducen a la formación de suelos típicos de regiones extratropicales (Gracheva, 2011; Badía *et al.*, 2013)). Los procesos activos de ladera, inducidos por sismos y lluvias fuertes, causan el truncamiento del suelo y la acumulación de material coluvial en la superficie del suelo los suelos se desarrollan desde cambisoles a umbrisoles y luego a alisoles y luvisoles (Krasilnikov *et al.*, 2007). Algunos de ellos pueden estar parcialmente truncados o ser completamente destruidos por deslizamientos de tierra, dando lugar a un nuevo ciclo de suelo formación (García Calderón *et al.*, 2006).

Los vertisoles y fluvisoles asociados con cuencas sedimentarias valles intermontanos en la parte baja formados por materiales aluviales recientes del cuaternario, la cual consiste en una planicie acumulativa de sedimentos continentales de edad reciente, constituidos por unidades carbonatadas, aluvión, gravas, arenas, limos y arcillas (Ortiz-Pérez *et al.*, 2004). Estos resultados concuerdan con otros estudios en los cuales los vertisoles se encuentran en áreas de depresión (Cajuste-Botemps y Gutiérrez, 2011). Con respecto a esta unidad cabe mencionar, que de acuerdo con los recorridos de campo; así como de los perfiles complementarios y entrevistas con productores locales existen indicios de que los vertisoles están sobrerrepresentados en la cartografía ya que se observó que más que los vertisoles, los fluvisoles son los que predominan en las partes bajas de cuencas y llanuras, por lo que se recomienda para estudios futuros el muestreo más intensivo con perfiles de campo, el empleo de imágenes para delimitar unidades de suelo (Rodríguez y González, 2010). Estos suelos han sido empleados para la agricultura desde la época colonial en que se asentaron las principales haciendas que proveyeron de productos agrícolas y ganado para la población del valle (Taylor , 1973).

En cuanto a las propiedades de los suelos y la vegetación asociada, se puede observar que los suelos asociados con vegetación forestal son luvisoles, acrisoles, cambisoles regosoles, kastañozems, en general son suelos ácidos y con un alto contenido de materia orgánica, esto concuerda con otros resultados obtenidos en la sierra norte de Oaxaca (Vergara *et al.*, 2005); y en la sierra sur, particularmente los derivados de roca gneiss (Krasilnikov *et al.*, 2007). En particular los suelos asociados a bosque de coníferas muestran valores más altos de materia orgánica (Segura-Castruita *et al.*, 2005; Cruz-Flores y Etchevers-Barra, 2011).

## CONCLUSIONES

La compilación y síntesis de información edafológica y geomorfológica el presente estudio permitió, identificar y delimitar los grupos de referencia de los suelos los Valles Centrales de Oaxaca a escala 1:250,000. La diversidad de los suelos de la región es amplia, se identificaron 10 grupos principales de suelos de referencia de la WRB: luvisoles, leptosoles, regosoles, cambisoles, phaeozems, vertisoles, acrisoles, umbrisoles, kastañozems y fluvisoles. La diversidad y distribución de los suelos en las áreas montañosas no se puede explicar únicamente por factores

climáticos por lo que se sugiere investigar el papel de procesos activos de pendientes como deslizamientos y erosión en la génesis de estos suelos. El conocimiento de esta diversidad importante ya que suelos diversos disminuyen los riesgos climáticos para la agricultura, si se considera que al menos algunos suelos mantienen su productividad en años excesivamente húmedos o secos, o después de la perturbación del agroecosistema lo que permitiría con un adecuado manejo consolidar su seguridad alimentaria y producir recursos para la región

En general lo observado en los recorridos de campo coinciden con lo representado en la cartografía, excepto en con los vertisoles, ya que no se observó una predominancia de estos esto es se ubicaron en áreas más restringidas. Los vertisoles son los de con mayor uso y capacidad agrícola corresponden a vertisoles que son suelos profundos, arcillosos con gran capacidad de retención de humedad de neutros a ligeramente alcalinos. Los suelos asociados con vegetación forestal son: Luvisoles, acrisoles, umbrisoles phaeozems y kastañozems y son ácidos, con abundante materia orgánica. En general corresponden suelos profundos, ácidos, con baja saturación de bases, profundos y con un alto contenido de carbono orgánico.

La Base Referencial Mundial del Recurso Suelo empleada permite establecer un marco de referencia para futuros estudios en los cuales se actualice y detalle la información edafológica tanto en su delimitación territorial como en su clasificación taxonómica ante actualizaciones de la WRB. Este conocimiento permitirá manejar un lenguaje científico común que facilitará el intercambio de información y experiencia, a nivel nacional e internacional que permitirá fortalecer las aplicaciones de la ciencia del suelo; tener información útil para apoyar el desarrollo, la planificación rural y el ordenamiento de las tierras de la región lo cual es un requisito esencial para la sostenibilidad de la región.

#### LITERATURA CITADA

- Alfaro, S. G. 2004. Suelos. *En*: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones (eds.) Biodiversidad de Oaxaca. México: UNAM. Ciudad de México. pp. 55-65.
- Badía, D., C. Martí, J. M. Aznar, y J. León. 2013. Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environments. *Geoderma* 193-194: 13-21.
- Bautista, F., O. Frausto y I. Thomas. 2015. Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: Enfoque geomorfológico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(6): 303-315.
- Cajuste-Botemps, L. L. y C. M. C. Gutiérrez. 2011. El factor relieve en la distribución de los suelos en México. *En*: P. Krasilnikov, F. J. Jimenez-Nava, T. Reyna-Trujillo y N. E. Garcia-Calderon (eds.) Geografía de suelos de México. UNAM. Ciudad de México. pp. 73-86.
- Centeno-García, E. 2004. Configuración geológica del estado. *En*: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones (eds.) Biodiversidad de Oaxaca. UNAM. Ciudad de México. pp. 29-42.
- Cruz-Flores, G. y J. D. Etchevers-Barra. 2011. Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de áreas protegidas de México. *Agrociencia* 45(8): 849-862.
- Ferrusquia-Villafranca, I. 2005. Geologic evolution of the valle de Oaxaca graben. Salt Lake City. p. 68.
- García Calderón, N. E., A. Ibáñez Huerta, G. Álvarez Arteaga, P. V. Krasilnikov, y A. Hernández Jiménez. 2006. Soil diversity and properties in mountainous subtropical areas, in Sierra Sur de Oaxaca, Mexico. *Canadian Journal of Soil Science* 86(1): 61-76.
- Gracheva, R. 2011. Formation of soil diversity in the mountainous tropics and subtropics: Rocks, time, and erosion. *Geomorphology* 135(3-4): 224-231.

- INEGI, 1980. Atlas Nacional del Medio Físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. Ciudad de México.
- INEGI. 2007a. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1:250 000 serie II. Continuo Nacional (E14-9 y E14-12).
- INEGI. 2007b. Conjunto de datos vectoriales Perfiles de suelos. Escala 1:1 000 000 Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/>[Consultado: 15 Enero 2018].
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO.
- Krasilnikov, P., N. E. García-Calderón y E. Fuentes-Romero. 2007. Pedogenesis and slope processes in subtropical mountain areas, Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(3): 469-486.
- Krasilnikov, P; N. E. García-Calderón, M. S Galicia-Palacios. 2007. Soils developed on different parent materials. *Terra Latinoamericana* 25(4): 335-344.
- Krasilnikov, P. V. 2011. Distribución espacial de los suelos y los factores que la determinan. En: P. Krasilnikov, F. J. Jimenez-Nava, T. Reyna-Trujillo y N. E. Garcia-Calderon. (eds.) *Geografía de suelos de México*. UNAM. Ciudad de México. pp. 1-41.
- Lehmann, J. y M. Kleber. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528(7580): 60-68.
- Ortiz-Pérez, M. A., J. R. Hernández-Santana y J. M. Figueroa-Mah-Eng. 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. Biodiversidad de Oaxaca. In: A. J. García-Mendoza , M. J. Ordóñez y M. Briones (eds.) *Biodiversidad de Oaxaca*. Ciudad de México: UNAM. pp. 43-54..
- Palma-López , D. J., R. Jiménez J. Ramírez, Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, F. Gavi Reyes, D. Y. Palma-Cancino. 2017. Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agro Productividad* 10(12): 29-35.
- Rodríguez, M. G. y M. P. González. 2010. Cartografía mediante imágenes landsat de suelos salinos en la tierra de Medina (Valladolid). *Estudios Geográficos* 71(268): 161-176.
- Segura-Castruita, M. A., P. Sánchez-Guzmán, C. A. Ortiz-Solorio, y M. Gutiérrez-Castorena. 2005. Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana* 23(1): 21-28.
- SEMARNAT, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. 31 diciembre.
- Taylor, W. B. 1973. Haciendas coloniales en el valle de Oaxaca. *Historia Mexicana* 23(2): 284-329.
- UABJO SEMARNAT, 2012. Caracterización del Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Territorio del Estado de Oaxaca. Componente natural. Disponible en: [http://www.ordenamientoecologico.oaxaca.gob.mx/sites/default/files/pdf/componente\\_ambiental\\_web.pdf](http://www.ordenamientoecologico.oaxaca.gob.mx/sites/default/files/pdf/componente_ambiental_web.pdf)
- Vergara, M. A., Jorge, E. y J. Padilla. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39(3): 259-266.
- Zavala-Cruz, J. R. R. Jiménez, D. J. Palma-López, F. Z. Bautista, F. G. Reyes. 2016. Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(8): 161-171.

## RESPUESTAS FENOTÍPICAS DE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ AZUL A EFECTOS AMBIENTALES<sup>1</sup>

### [PHENOTYPIC RESPONSES OF BLUE MAIZE POPULATIONS TO ENVIRONMENTAL EFFECTS]

Socorro Morales Flores<sup>1</sup>, José L. Chávez-Servia<sup>2§</sup>, José C. Carrillo-Rodríguez<sup>1</sup>, Gerardo Rodríguez-Ortiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, C.P. 71230, Oaxaca. <sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-IPN-Oaxaca, Hornos No. 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, C.P. 71230, Oaxaca, México, Tel/fax: (+52) 951-5170610. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (jchavez@hotmail.com).

#### RESUMEN

Los maíces azules representan una fuente de alimento y estrategia de vida para las comunidades rurales de Oaxaca. Con el objetivo de evaluar la interacción genotipo-ambiente y efecto del ambiente sobre poblaciones heterogéneas de maíz azul, se sembraron 70 poblaciones en Villa de Zaachila y Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán durante el ciclo primavera-verano 2013. Las poblaciones evaluadas presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) a través de localidades de evaluación, también mostraron contrastes significativos y se presentaron interacciones significativas entre localidades y poblaciones evaluadas. Todo esto en relación a floración femenina de plantas, diámetro, longitud e hileras de granos en mazorca, longitud y ancho de grano, peso y volumen de 1000 granos, y rendimiento. Los componentes de varianza fenotípica, reflejaron que la varianza ambiental fue significativamente más importante que las varianzas genotípicas y de interacción genotipo-ambiente, en todos los caracteres agronómicos evaluados, excepto en número de hileras en mazorca, relación largo/ancho de grano y volumen de 1000 granos. Este efecto se reflejó en altos valores de heredabilidad en sentido amplio ( $0.28 < H^2 < 0.39$ ). A través de los estimadores no paramétricos de estabilidad se identificaron dos grupos de poblaciones sobresalientes: unas con mayor grado de estabilidad en días a floración, peso y volumen de 1000 granos y rendimiento experimental (A-01, A-07, A-23, C-223, C-224, C-305 y C-334) y otras más estables en rendimiento (A-19, A-25, C-12, C-05, C-189 y C-313), pero no necesariamente fueron estables en días a floración masculina ni en peso y volumen de 1000 granos. Los resultados son relevantes para diseñar una estrategia de mejoramiento genético *in situ* con objetivos y metas locales comunitarias.

**Palabras clave:** *Zea mays*, interacción genotipo-ambiente, estabilidad no paramétrica.

#### ABSTRACT

Blue maize represents a source of food and is a life strategy for rural communities from Oaxaca. Then, in order to evaluate the genotype-environment interactions and environmental effect on heterogeneous populations of blue maize, 70 populations were sown in Villa de Zaachila and Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlan, during spring summer 2013 crop cycle. Significant differences ( $p < 0.05$ ) were determined for populations, locations (environments) and genotype-

---

<sup>1</sup>Recibido 10 de octubre de 2018

Aceptado 15 de diciembre de 2018

environment interaction. All this for days to female flowering, diameter, length and number of rows in the cob, weight and volume of 1000 kernels, and experimental yield. Variance components reflected that, the environmental variance was significantly higher than genotypes and genotype-environment interactions variances over all traits, except to number of rows of the cob, relation length/width of kernel, and volume of 1000 kernels. Such effect were relevant to increase the broad-sense heritability values ( $0.28 < H^2 < 0.39$ ). Two populations groups were determined by non-parametric estimators of stability: one integrated with stable populations for days to flowering, weight and volume of 1000 kernels, and experimental yield (A-01, A-07, A-23, C-223, C-224, C-305 and C-334) and other ones also stables but only for yield (A-19, A-25, C-12, C-05, C-189 and C-313). The results are relevant to design a strategy of in situ plant breeding but with local goals and challenges.

**Index words:** *Zea mays*, genotype-environment interaction, non-parametric stability.

## INTRODUCCIÓN

La interacción genotipo-ambiente es la diferencial de respuesta de un genotipo a través de diferentes condiciones ambientales o de cultivo. Es de enorme importancia en los programas de mejoramiento genético de maíz, entender la interacción genético-ambiental en un carácter complejo como el rendimiento de grano (Zambrano *et al.*, 2017). Los factores agroecológicos como precipitaciones, oscilaciones térmicas, características de suelo y usos de insumos o modificaciones artificiales del microambiente de producción, son determinantes en el crecimiento y desarrollo del genotipo, rendimiento producido y expresiones fenotípicas de diversos caracteres de importancia agronómica (Akcura y Kaya, 2008; Delic *et al.*, 2009; Crossa *et al.*, 2010).

Las interacciones genotipo-ambientes son fuentes importantes de variación fenotípica en todos los cultivos, y se usa el término estabilidad para definir a un genotipo con rendimiento más o menos constante, independientemente de las condiciones ambientales. Es decir, un genotipo con mínima varianza en rendimiento y otros caracteres agronómicos a través de diferentes ambientes. Aun cuando se hace referencia a un concepto estático al decir estable, biológicamente es difícil asumirse como tal y se prefiere interpretar como un concepto dinámico, debido a que el genotipo puede responder favorablemente en ambientes restrictivos o de estrés y expresar su mayor potencial en condiciones favorables (Becker y León, 1988).

Existen diversos métodos estadísticos paramétricos y no paramétricos para evaluar, estudiar e interpretar la interacción genotipo-ambiente. Entre los enfoques paramétricos se destacó el uso de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) y en las últimas décadas los análisis AMMI (*additive main effects and multiplicative interaction*) en conjunción con el uso de componentes principales (Gauch *et al.*, 2008), y *biplot* evalúan el efectos de genotipo e interacción genotipo-ambientes (GGE), Gabriel (1971) y Yan *et al.* (2000 y 2007). No obstante, es difícil mantener el supuesto de normalidad univariante o multivariante de los errores e interacción.

El enfoque no-paramétrico o análisis de agrupamientos no requiere asumir tal aseveración específica e incrementa la facilidad de interpretación. Huehn (1979), Nassar y Huehn (1987) y Huehn (1990 a, b) proponen cuatro métodos para medir la estabilidad fenotípica no paramétrica:  $S_i^{(1)}$ , el rango absoluto de las diferencias del mismo genotipo a través de ambientes;  $S_i^{(2)}$ , varianza de diferencias de rangos a través de ambientes;  $S_i^{(3)}$ , suma de desviaciones respecto a la media de

rango de ambientes al cuadro; y  $S_i^{(6)}$ , relación entre suma de diferencias de rangos respecto a la media de rangos y rango promedio. No obstante, las diferencias y particularidades, en términos generales, existe una relación directa entre los resultados de los enfoques paramétricos y no paramétricos en el análisis de estabilidad de genotipos (Piepho y Lotito, 1992; Kilic, 2012).

El concepto de estabilidad no paramétrica es ampliamente utilizada para evaluar estabilidad del rendimiento en cultivos anuales a través de ambientes (Vargas *et al.*, 2016; Mohammadi *et al.*, 2009), interpretación de la interacción genotipo ambiente en plantas autógamias como trigo (Rodríguez *et al.*, 2002; Akcura y Kaya, 2008; Kilic, 2012) y para medir la estabilidad de genotipos en maíz (Delic *et al.*, 2009), entre otros usos. Estos estimadores no paramétricos complementan la información generada en estimaciones de componentes de varianza en modelos mixtos y heredabilidad, y en conjunto ayudan a entender, desde una perspectiva más amplia, la interacción genotipo-ambiente (Khuri, 2000; Cadena-Meneses y Castillo-Morales, 2000; Shimelis y Shiringani, 2010).

En diversos trabajos en maíz desarrollados en los estados de México como Tamaulipas, Nayarit, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, y Estado de México, entre otros, han realizado ensayos en diferentes localidades, y a través de un análisis de varianza combinado prueban la significancia de la interacción genotipo-localidad como un indicador de cierto grado de adaptabilidad de las poblaciones a través de ambientes. Consecuentemente, subdividen a las localidades en regiones relativamente homogéneas donde determinan que poblaciones tendrán adaptación general o adaptaciones específicas (Carabaloso-Torrecilla *et al.*, 2000; Arellano *et al.*, 2003; Antonio *et al.*, 2004; López-Romero *et al.*, 2005; Aguilar-Castillo *et al.*, 2006; González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Hortelano *et al.*, 2008; Pecina-Martínez *et al.*, 2009; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Pecina-Martínez *et al.*, 2011; Castro-Nava *et al.*, 2011).

Esas poblaciones evaluadas representaron a diferentes razas mexicanas de maíz con distribución regional, y se asume cierta adaptación específica; entre ellas Chalqueño, Cónico, Jala, Zapalote Chico, Cacahuacintle, Tuxpeño, Vandeño, Olotillo y Tepecintle, entre otras (Wellhausen *et al.*, 1951; Vielle-Calzada y Padilla, 2009). En este contexto, se planteó el objetivo de evaluar la interacción genotipo-ambiente en caracteres de rendimiento, a través de componentes de varianza y estabilidad no paramétrica, en poblaciones nativas de maíz azul de la mixteca oaxaqueña.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

La colección de maíces azules evaluados se constituyó por 66 poblaciones nativas de maíz azul colectadas en la Mixteca oaxaqueña e incluyendo, a manera de testigos externos, cuatro poblaciones de Puebla (Cuadro 1). Las poblaciones de la mixteca oaxaqueña fueron colectadas en 42 comunidades de 12 municipios dentro de una variación altitudinal de 1340 a 2900 msnm. Se incluyen municipios de la Mixteca baja dentro de los distritos de Huajuapán de León, Santiago Juxtlahuaca y Silacayoapam; y municipios de la Mixteca alta de los distritos de Tlaxiaco, Jaltepec, Nochixtlán y Coixtlahuaca.

**Cuadro 1. Listado de muestras poblacionales de maíz nativo, colectadas en la Mixteca oaxaqueña.**

<b>Población</b>	<b>Localidad o agencia y/ cabecera municipal</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
AZUL-01	Independencia, Chalcatongo de Hidalgo	2440	17° 02' 07"	97° 35' 14"
AZUL-02	Abasolo, Chalcatongo de Hidalgo	2580	16° 59' 17"	97° 33' 34"
AZUL-03	Reforma, Chalcatongo de Hidalgo	2640	16° 56' 47"	97° 31' 22"
AZUL-05	Aldama, Chalcatongo de Hidalgo	2240	16° 57' 43"	97° 35' 50"
AZUL-06	Chapultepec, Chalcatongo de Hidalgo	2520	16° 58' 57"	97° 34' 40"
AZUL-07	Benito Juárez, San Miguel El Grande	2200	17° 00' 17"	97° 37' 43"
AZUL-08	Progreso, Chalcatongo de Hidalgo	2460	17° 02' 40"	97° 34' 12"
AZUL-09	Progreso, Chalcatongo de Hidalgo	2460	17° 02' 40"	97° 34' 12"
AZUL-10	Iturbide, San Miguel El Grande	2480	17° 03' 40"	97° 35' 22"
AZUL-11	Hidalgo, San Miguel El Grande	2500	17° 04' 25"	97° 35' 38"
AZUL-12	Guadalupe Victoria, San Miguel El Grande	2480	17° 04' 08"	97° 36' 37"
AZUL-13	Francisco I. Madero, San Miguel El Grande	2300	17° 02' 07"	97° 38' 12"
AZUL-14	Benito Juárez, San Esteban Atatlaha	2400	17° 02' 38"	97° 38' 50"
AZUL-15	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	2500	17° 02' 02"	97° 38' 16"
AZUL-16	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	2500	17° 02' 02"	97° 38' 16"
AZUL-17	Morelos, San Miguel El Grande	2620	17° 03' 40"	97° 37' 38"
AZUL-19	San Esteban Atatlaha	2450	17° 03' 55"	97° 40' 38"
AZUL-20	El Ojite, Tlaxiaco	2500	17° 12' 41"	97° 43' 45"
AZUL-21	Morelos, San Miguel El Grande	2620	17° 03' 40"	97° 37' 38"
AZUL-22	Morelos, San Miguel El Grande	2620	17° 03' 40"	97° 37' 38"
AZUL-23	El Ojite, Tlaxiaco	2020	17° 12' 41"	97° 43' 45"
AZUL-24	San Esteban Atatlaha	2450	17° 03' 55"	97° 40' 38"
AZUL-25	Independencia, Chalcatongo de Hidalgo	2440	17° 02' 02"	97° 38' 16"
AZUL-26	Cañada Morelos, Chalcatongo de Hidalgo	2360	16° 58' 30"	97° 36' 58"
AZUL-27	Cañada Morelos, Chalcatongo De Hidalgo	2360	16° 58' 30"	97° 36' 58"
AZUL-28	Vicente Guerrero, San Miguel El Grande	2500	17° 01' 40"	97° 36' 57"
AZUL-29	San Miguel El Grande	2480	17° 02' 45"	97° 37' 10"
AZUL-31	Guerrero Grande, San Esteban Atatlaha	2520	17° 02' 42"	97° 41' 32"
AZUL-32	San Miguel El Grande	2480	17° 02' 45"	97° 37' 10"
CIIDIR-02	Independencia, San Esteban Atatlaha	2640	17° 05' 45"	97° 39' 35"
CIIDIR-05	Tlaxiaco	2500	17° 16' 10"	97° 40' 45"
CIIDIR-12	San Juan Ñumi	2080	17° 21' 27"	97° 42' 38"
CIIDIR-54	Santa María del Rosario	2320	17° 21' 00"	97° 35' 59"
CIIDIR-66	San Martín Hualmelulpam	2210	17° 24' 07"	97° 36' 58"
CIIDIR-107	Abasolo, Chalcatongo de Hidalgo	2580	16° 59' 22"	97° 33' 32"
CIIDIR-112	Chalcatongo de Hidalgo	2500	17° 01' 45"	97° 34' 10"
CIIDIR-125	Independencia, Chalcatongo de Hidalgo	2440	17° 02' 10"	97° 35' 15"
CIIDIR-129	Independencia, Chalcatongo de Hidalgo	2440	17° 02' 10"	97° 35' 15"
CIIDIR-131	Independencia, Chalcatongo de Hidalgo	2440	17° 02' 10"	97° 35' 15"
CIIDIR-145	Hidalgo, San Miguel el Grande	2500	17° 02' 10"	97° 35' 39"
CIIDIR-163	Ignacio Zaragoza, San Miguel el Grande	2500	17° 02' 02"	97° 38' 16"
CIIDIR-167	Ignacio Zaragoza San Miguel el Grande	2500	17° 02' 02"	97° 38' 16"
CIIDIR-169	Yucuiji, San Esteban Atatlaha	2900	17° 02' 10"	97° 41' 27"
CIIDIR-172	Independencia, San Esteban Atatlaha	2640	17° 05' 45"	97° 39' 35"
CIIDIR-179	Morelos, San Miguel El Grande	2825	17° 03' 55"	97° 40' 38"
CIIDIR-184	La Loma, Santa Cruz Nundaco	2300	17° 02' 10"	97° 43' 25"
CIIDIR-185	Ojo de agua, Santa Cruz Nundaco	2680	17° 08' 06"	97° 42' 33"
CIIDIR-189	Yucuiji, San Esteban Atatlaha	2900	17° 02' 10"	97° 41' 27"
CIIDIR-190	Yucuiji, San Esteban Atatlaha	2900	17° 02' 10"	97° 41' 27"
CIIDIR-197	Ignacio Zaragoza, San Miguel el Grande	2500	17° 02' 02"	97° 38' 16"
CIIDIR-216	Santa Inés de Zaragoza, Nochixtlán	1750	17° 13' 41"	97° 09' 30"
CIIDIR-223	San Francisco Jaltepec	2070	17° 23' 04"	97° 15' 43"
CIIDIR-224	Santiago Tilantongo, Nochixtlán	2220	17° 17' 00"	97° 20' 20"
CIIDIR-231	El Palmar San Miguel Huautla, Nochixtlán	1970	17° 44' 25"	97° 08' 35"
CIIDIR-233	Santiago Apoala, Nochixtlán	1970	17° 38' 50"	97° 08' 10"
CIIDIR-267	Santa María Nativitas, Coixtlahuaca	2180	17° 39' 40"	97° 20' 00"
CIIDIR-283	Santiago Cacaloxtpec, Huajuapam	1760	17° 43' 15"	97° 44' 30"
CIIDIR-305	San Sebastián del Monte, Santo Domingo Tonalá	1680	17° 40' 40"	98° 01' 19"
CIIDIR-313	San Simón Zahuatlán, Huajuapam	1920	17° 49' 40"	98° 00' 14"
CIIDIR-334	San Mateo Nejapan, Silacayoapam	1340	17° 29' 48"	98° 04' 19"
CIIDIR-337	San Andrés Tepetlapa, Silacayoapam	1460	17° 39' 54"	98° 23' 27"
CIIDIR-339	San Miguel Ahuehuetitlán, Silacayoapam	1370	17° 40' 14"	98° 19' 17"
CIIDIR-363	Nican de la Soledad Santiago, Juxtlahuaca	2000	17° 17' 19"	98° 02' 09"
CIIDIR-369	Natividad, Santo Domingo Tonalá, Huajuapam	1360	17° 41' 28"	97° 58' 06"
HUA-09	San Martín Hualmelulpam	2210	17° 24' 07"	97° 36' 58"
CIIDIR-372	Chalcatongo de Hidalgo	2500	17° 01' 45"	97° 34' 10"
CPUE-339				
CPUE-636				
CPUE-637				
CPUE-651				

## Ambientes de evaluación y manejo de experimentos

La colección de maíces nativos fue sembrada en el ciclo primavera-verano de 2013 en localidades contrastantes agroecológicamente (Cuadro 2). La primera siembra se hizo el 11 de mayo de 2013 en Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán en la región Mixteca oaxaqueña, y la segunda se estableció el 5 de junio de 2013 en terrenos de la cabecera municipal de Villa de Zaachila, región de los Valles Centrales de Oaxaca. En ambos casos la siembra se hizo bajo condiciones de temporal, en un diseño de bloques al azar con 3 y 5 repeticiones, en la primera y segunda localidad, respectivamente.

**Cuadro 2. Características eco-geográficas de los ambientes de evaluación en Villa de Zaachila (cabecera municipal) y Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán.**

Descriptor ecogeográfico	Villa de Zaachila	Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán
Longitud oeste (LO)	96° 43' 37.54"	97° 22' 08.92"
Latitud norte (LN)	16° 56' 06.68"	17° 33' 01.53"
Altitud (m)	1509	2380
Temperatura máxima (°C)	27.39	24.05
Temperatura mínima (°C)	11.09	8.21
Temperatura media (°C)	18.89	15.60
Precipitación media anual (mm)	552.4	651
Humedad relativa (%)	67.97	66.79
Suelos frecuentes (clasificación FAO/UNESCO)	Luvisol y vertisol	Litosoles, regosoles y cambisoles
Pendiente frecuentes	0.5 a 5%	10 a 40%
Periodo de heladas	-----	Diciembre-febrero
Clima	Semicálido húmedo con lluvias en verano ACw	Templado subhúmedo con lluvias en verano C(w),

Se aplicó la fórmula de fertilización 120-100-60 de N-P-K, el nitrógeno se dividió en dos aplicaciones; 50% a la primera escarda y 50% cercano a la floración en aparición de la hoja bandera. El control de maleza e insectos se hizo según las recomendaciones para maíz en cada ambiente.

Para evaluar la respuesta de las poblaciones a los ambientes de evaluación, se utilizaron las variables: días a floración femenina, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras y granos por hilera en mazorca, longitud y ancho de grano, peso de 1000 granos y volumen de 1000 granos. Además, mediante el peso de mazorcas a la cosecha, se estimó el rendimiento experimental ajustado por número de plantas, humedad al 14%, proporción de grano y unidad de área evaluada (8 m<sup>2</sup>). Complementariamente, por unidad experimental, a la cosecha se estimó el porcentaje de mazorcas sanas, enfermas de acuerdo con la guía de campo de pudriciones de la mazorca (CIMMIT, 2004) y dañadas por plagas (daños físicos al grano), respecto al total de mazorcas cosechadas. En estado de madurez fisiológica de grano se hizo una estimación visual del porcentaje de acame de raíz y tallo por parcela experimental.

## Análisis estadístico

Con los datos agronómicos se hicieron análisis de varianzas combinados mediante el diseño de bloques completos al azar; donde poblaciones fueron consideradas como efectos fijos, localidades (ambientes) como efectos aleatorios y repeticiones anidadas en ambientes. Después, se estimaron los componentes de varianza por el método de máxima verosimilitud restringida (REML) mediante el procedimiento VARCOMP del paquete estadístico SAS (2000). A partir de los valores de varianzas ( $\sigma^2$ ), se calculó la heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) mediante la expresión  $H^2 = \sigma^2_{\text{poblaciones}} / (\sigma^2_{\text{localidades}} + \sigma^2_{\text{colectas}} + \sigma^2_{\text{localidades*poblaciones}} + \sigma^2_{\text{rep(localidades)}} + \sigma^2_{\text{error}}$ , donde los subíndices indican los efectos.

Para determinar la estabilidad en los materiales se utilizaron los índices propuestos por Huehn (1990) y Nassar y Huehn (1987), los que combinan la media de la expresión fenotípica de rendimiento y caracteres asociados y su estabilidad a través de localidades de evaluación. Tienen como base la asignación de rangos al valor de la variable evaluada en cada población; donde el rango 1 fue asignado a la población con el valor más bajo, rango 2 a la población con el segundo valor más bajo y así sucesivamente, en cada ambiente o localidad de evaluación. También se estimó un rango promedio de cada población a través de ambientes. Los parámetros de estabilidad no paramétrica de Huehn (1990) y Nassar y Huehn (1987), se estimaron mediante las expresiones siguientes:

$S_i^{(1)} = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=j+1}^m |r_{ij} - \hat{r}_{ij}|$ , la media de la diferencia absoluta de rangos de un genotipo a través de ambientes ( $r_{ij} \neq \hat{r}_{ij}$ , ambientes diferentes).

$S_i^{(2)} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{j=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_{ij})^2$ , varianza entre rangos a través de ambientes.

$S_i^{(3)} = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_{i.})^2 / \bar{r}_{i.}$ , suma de las desviaciones al cuadrado de cada genotipo respecto al rango promedio.

$S_i^{(6)} = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - \bar{r}_{i.}| / \bar{r}_{i.}$ , suma de cuadrados de rangos absolutos de cada población respecto al rango promedio.

Donde,  $i$  = poblaciones (1, 2, ..., 70),  $m$  = número de ambientes (=localidades) de evaluación ( $j = 1, 2$ ),  $r_{ij}$  = rango del  $i$ -ésima población en el  $j$ -ésimo ambiente y  $\bar{r}_{i.}$  = media del rango del  $i$ -ésima población a través de ambientes. Así, para las variables días a floración femenina, peso y volumen de 1000 granos se estimaron los índices  $S_i^{(1)}$  y  $S_i^{(2)}$ , y para rendimiento experimental se calcularon los índices  $S_i^{(1)}$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$  y  $S_i^{(6)}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis de varianzas combinados se determinaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre localidades y poblaciones para todos los caracteres evaluados. En el caso de la interacción poblaciones-localidades no hubo diferencias significativas en porcentaje de mazorcas sanas y enfermas (pudriciones) y porcentaje de acame. Esto último indica que, la presencia de daños por enfermedades y acame dependen de la localidad de evaluación. En estos ensayos, el rendimiento experimental presentó diferencias significativas en la interacción poblaciones-

localidades (Cuadro 3). Todo indica una alta variabilidad en rendimiento y caracteres asociados entre las poblaciones evaluadas e interaccionan frecuentemente con el ambiente de evaluación.

**Cuadro 3. Significancias de cuadrados medios de variables agronómicas evaluadas en 70 poblaciones de maíz azul, en Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán y Villa de Zaachila, primavera-verano 2013.**

Caracteres evaluados	Localidades (A)	Repetición/ Localidad	Poblaciones (G)	G × A	Error	C.V. (%)
Días a floración femenina	220016.57**	55.89**	180.52**	49.90**	18.14	4.7
Longitud de mazorca	1090.17**	61.94**	49.83**	14.03**	4.06	15.7
Diámetro de mazorca	104.53**	1.48**	3.11**	0.81**	0.16	9.6
Núm. hileras en mazorca	85.24**	2.58 <sup>NS</sup>	66.00**	6.03**	2.95	14.1
Ancho de grano	16.83**	1.38**	7.81**	0.92**	0.54	8.5
Longitud de grano	261.99**	2.56*	4.11**	2.22**	1.15	8.9
Peso de mil granos	873819.2**	919.8 <sup>NS</sup>	26161.8**	4498.2**	2380.0	16.0
Volumen de mil granos	1345751.6**	3007.4 <sup>NS</sup>	52457.1**	6147.2**	4103.0	15.5
% mazorcas sanas	0.205**	0.007 <sup>NS</sup>	0.017**	0.009 <sup>NS</sup>	0.008	9.7
% mazorcas enfermas	0.129*	0.076*	0.045**	0.025 <sup>NS</sup>	0.027	24.9
% mazorcas dañadas	0.295**	0.011 <sup>NS</sup>	0.0363**	0.034*	0.022	21.6
% de acame	12.946**	0.276**	0.1002**	0.059 <sup>NS</sup>	0.048	26.9
Rendimiento experimental	6416.69**	390.20**	258.26**	173.26*	118.90	23.4

<sup>NS</sup>No significativo ( $p > 0.05$ ); \*significativo a  $p < 0.05$ ; \*\*significativo a  $p < 0.01$ ; CV= coeficiente de variación.

En general, en la comunidad de Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán los valores promedios de cada variable presentaron un alta expresión fenotípica y difieren significativamente de los valores obtenidos en Zaachila, excepto en porcentaje de plantas enfermas y acame donde se presentó mayor incidencia en esta comunidad (Cuadro 4).

Los resultados reflejan el efecto contrastante entre ambientes de evaluación; el primero en un clima templado subhúmedo y el segundo semicálido húmedo, pero ayudan a discriminar genotipos cuando las condiciones son restrictivas. Estos efectos son frecuentes en evaluaciones de maíces de zonas templadas y evaluados en ambientes contrastantes; un ejemplo de esto lo reporta Pecina *et al.* (2011) en la evaluación de poblaciones de maíz de Tamaulipas, y el patrón también se repite en las evaluaciones realizadas por Arellano *et al.* (2003) y Antonio *et al.* (2004) con maíz azul en los Valles Altos de México.

**Cuadro 4. Comparación de medias entre ambientes de evaluación en relación al comportamiento agronómico de 70 poblaciones de maíz azul, primavera-verano 2013.**

Caracteres evaluados	Villa de Zaachila	Tooxi, Sto. Domingo Yanhuitlán
Días a floración femenina	75.7 b <sup>†</sup>	116.7 a
Longitud de mazorca (cm)	11.9 b	13.3 a
Diámetro de mazorca (cm)	3.9 b	4.3 a
Núm. hileras en la mazorca	11.6 b	12.5 a
Ancho de grano (mm)	8.5 b	8.7 a
Longitud de grano (mm)	11.3 b	12.8 a
Peso de mil granos (g)	262.9 b	346.8 a
Volumen de mil granos (cm <sup>3</sup> )	362.8 b	464.9 a
Porcentaje de mazorcas sanas	0.94 b	0.98 a

Porcentaje de mazorcas enfermas	0.67 a	0.65 b
Porcentaje de mazorcas con daños de plagas	0.71 b	0.67 a
Porcentaje de acame	0.93 a	0.61 b
Rendimiento (kg/ 8 m <sup>2</sup> )	42.5 b	50.8 a

†en renglón, medias con letras iguales no difieren significativamente (Tukey,  $p < 0.05$ )

En este trabajo se evaluó la incidencia de mazorcas con pudriciones ocasionadas por *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Diplodia* sp., y *Cladosporium* sp., principalmente (CIMMYT, 2004). En cuanto a incidencia de plagas en la mazorca, se evaluó el daño por pájaros, *Sitophilus zeamais* M., y resultados de la incidencia en elote de *Heliothis* spp. (Ortega, 1987). En ambos casos, los resultados fueron diferentes entre localidades de evaluación y entre poblaciones evaluadas (Cuadro 5). La alta incidencia de mazorcas enfermas en Yanhuatlán y Zaachila, indican que el agricultor no ha seleccionado eficientemente para contrarrestar los efectos de las pudriciones en la mazorca y que las enfermedades persisten en los campos de cultivo de los agricultores como parte de una co-evolución enfermedades-maíz. Un patrón general fue que, las poblaciones originarias de mayores altitudes (> 2600 msnm), provenientes de los municipios de San Miguel El Grande y San Esteban Atlatluca, y de bajas altitudes (< 1500 msnm) de Huajuapán de León, Silacayoapan y Santiago Juxtaluaca, mostraron mayores incidencias de pudriciones en la mazorca.

No obstante, los daños por plagas también fueron considerables e indican que las mazorcas no se encuentran completamente cubiertas por las brácteas envolventes y ponen al descubierto el elote y posteriormente la mazorca madura fisiológicamente, y hace que se incremente la incidencia de plagas en los lotes de cultivo. Todo se puede corregir con un programa de mejoramiento *in situ* a largo plazo, como se ha demostrado en otros trabajos (Smith *et al.*, 2001).

En ambas localidades de evaluación, el daño por acame de raíz y tallo fue alto, se mostró mayor incidencia en Villa de Zaachila que en Tooxi, Santo Domingo Yanhuatlán (Cuadro 5). No obstante, la poblaciones C-216, C-231, C-313 y C-339 fue las menos afectada por acame. Todo esto hace pensar que, aun cuando existen diversos problemas fitosanitarios, de plagas y de comportamiento agronómico, existe variabilidad genética suficiente para superar estos inconvenientes.

**Cuadro 5. Incidencia de daños por enfermedades y plagas en mazorca, y porcentaje de acame en poblaciones de maíz azul, en dos ambientes contrastantes.**

Colectas	Tooxi, Santo Domingo Yanhuatlán				Villa de Zaachila			
	% Sanas	% Enfermas	% Dañadas	% Acame	% Sanas	% Enfermas	% Dañadas	% Acame
A-01	64.6	4.8	30.6	21.1	19.1	14.2	6.7	77.9
A-02	51.3	2.6	<b>46.2</b>	35.7	19.1	14.2	6.7	77.9
A-05	71.6	10.7	17.7	20.6	24.6	8.6	6.9	80.7
A-06	49.8	0.0	16.9	17.0	19.1	15.1	5.9	83.4
A-07	85.6	6.7	7.7	15.1	70.1	10.1	19.8	53.4
A-08	89.6	5.0	5.4	5.4	13.3	3.3	3.3	79.2
A-09	65.8	7.9	26.4	23.6	48.5	30.0	21.5	54.6
A-11	48.5	3.0	15.2	16.7	-	-	-	73.0
A-12	68.5	3.9	27.6	18.8	56.2	19.2	24.7	63.9
A-13	75.0	11.8	13.3	7.9	33.9	6.6	19.5	67.1
A-14	69.6	6.7	23.8	21.3	48.8	16.0	15.2	75.2
A-15	32.4	0.0	1.0	6.7	25.0	0.0	0.0	98.6
A-16	56.4	8.7	34.9	58.0	15.0	5.0	20.0	81.9
A-17	72.2	6.2	21.6	36.4	14.3	5.7	0.0	79.0
A-19	81.9	8.5	9.7	13.6	37.7	15.3	7.0	85.0
A-20	76.6	9.5	13.9	9.4	10.0	0.0	10.0	68.3
A-22	70.4	8.1	21.5	29.4	20.0	0.0	0.0	100.0

A-23	78.0	7.2	14.8	13.5	66.1	8.6	25.3	33.2
A-24	71.6	7.6	20.8	12.6	67.2	5.6	27.2	71.8
A-25	62.1	5.0	32.9	39.8	66.0	1.4	32.6	85.3
A-26	68.2	9.3	22.6	9.5	13.3	2.2	4.4	81.1
A-28	50.0	25.2	24.8	14.9	58.9	26.0	15.1	51.8
A-29	58.0	12.3	29.7	28.4	29.3	12.4	18.3	38.7
A-31	76.4	7.5	16.2	17.1	53.8	10.6	15.6	100.0
A-32	59.2	26.8	14.0	12.0	45.8	20.2	14.0	74.3
A-27	69.2	6.9	23.9	24.0	43.7	11.4	24.9	100.0
C-12	70.4	10.3	19.3	12.7	62.4	16.1	21.6	51.8
C-02	71.2	19.6	9.2	11.3	21.4	0.0	18.6	68.5
C-05	61.4	9.4	29.1	7.7	64.9	15.8	19.3	47.4
C-54	65.5	4.0	30.6	32.4	59.8	10.2	10.0	53.0
C-66	66.1	6.8	27.1	8.4	46.5	24.0	9.5	74.5
C-107	32.0	7.3	60.6	16.2	28.6	16.7	14.7	53.5
C-112	44.4	11.4	44.2	19.5	18.9	32.9	8.2	56.9
C-125	57.3	12.5	30.3	7.5	24.7	16.0	19.3	69.9
C-129	72.8	5.1	22.1	22.7	40.3	5.0	14.7	62.4
C-131	42.2	16.7	7.8	15.6	57.2	15.1	27.7	51.0
C-145	80.6	8.9	10.6	43.9	37.1	22.4	20.6	67.6
C-163	53.2	6.7	40.1	28.8	30.7	26.0	3.3	90.0
C-167	41.8	23.1	35.1	22.3	49.6	3.6	26.8	59.3
C-172	59.7	18.9	21.4	8.6	22.4	10.9	6.7	60.8
C-179	72.0	7.1	20.9	19.5	43.1	26.6	10.3	61.5
C-184	69.8	9.4	20.8	7.9	62.5	0.0	0.0	49.4
C-185	63.2	17.9	18.9	12.4	15.7	6.2	18.1	70.9
C-189	82.0	9.4	8.6	10.7	25.9	8.6	5.5	68.2
C-197	49.4	5.0	45.7	11.8	18.9	6.9	14.2	59.7
C-216	72.7	3.1	24.2	13.4	45.1	4.0	11.0	20.0
C-223	65.5	21.7	12.8	4.9	70.3	13.3	16.4	35.3
C-224	65.0	23.7	11.3	6.8	62.6	12.0	25.5	52.3
C-231	73.8	8.0	18.2	7.4	57.9	12.4	29.8	7.7
C-233	57.1	2.9	6.7	9.6	66.8	10.1	23.1	30.9
C-267	65.7	10.2	24.2	17.8	54.9	22.6	22.5	53.6
C-283	62.5	17.5	19.9	18.3	68.1	13.2	18.7	29.4
C-305	62.8	24.3	12.9	2.9	57.4	16.4	26.2	50.2
C-313	59.8	16.8	23.4	5.6	70.3	14.4	15.4	22.6
C-334	68.1	12.2	19.6	30.0	60.9	14.2	24.9	37.9
C-337	72.7	19.0	8.3	15.1	83.0	4.7	12.3	23.4
C-339	64.1	18.3	17.6	17.1	57.8	11.3	30.9	14.9
C-363	47.4	24.5	28.2	9.6	33.0	4.3	22.7	42.6
C-369	63.1	9.6	27.3	8.6	51.7	21.7	6.6	52.2
C-372	64.2	16.6	19.2	24.0	5.7	2.9	11.4	94.3
C-HUA09	92.8	3.2	4.0	8.9	67.3	16.7	16.0	82.9
PUE-636	67.6	17.1	15.3	15.1	17.0	0.0	23.0	88.5
PUE-637	69.9	22.1	8.0	21.0	10.0	6.7	3.3	88.0
PUE-651	70.2	16.1	13.8	19.3	61.4	19.6	19.0	60.5

En el Cuadro 6, se presentan los componentes de varianza fenotípica determinada por los efectos del ambiente, genotípico e interacción genotipo ambiente. En la circunstancia prevista por el diseño del trabajo, la evaluación de poblaciones en ambientes contrastantes, se reflejó en la varianza ambiental estimada. Esto es, la contribución de la varianza ambiental, a la estimación de la varianza fenotípica total, fue significativamente importante en todos los caracteres agronómicos evaluados, excepto en número de hileras en mazorca, relación largo/ancho de grano y volumen de 1000 granos.

Este patrón de respuesta fue semejante a la cuantificada en diversos trabajos con poblaciones nativas de maíz de las zonas templadas a frías de Puebla (Hortelano *et al.*, 2008; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010), estado de México (Arellano *et al.*, 2003; González *et al.*, 2006) y Tamaulipas (Pecina *et al.*, 2011), entre otros. Todo esto hizo que mediante la estimación por máxima verosimilitud restringida (REML), no se determinaran diferencias significativas en la interacción localidades-poblaciones (=genotipo  $\times$  ambiente), ya que los valores de la varianza de la

interacción son pequeños en relación con la varianza debía al error. En el caso de la varianza genotípica (poblaciones) fue significativamente mayor que la debida al error, y en volumen de 1000 granos, largo/ancho de grano y número de hileras en la mazorca, fueron mayores que la varianza ambiental, e indica una alta determinación genética.

Los valores de heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ), fueron bajos ( $0.01 < H^2 < 0.17$ ) en caracteres de floración, tamaño de mazorca y rendimiento, e intermedios ( $0.28 < H^2 < 0.39$ ) en número de granos por hilera de mazorca, relación largo/ancho de grano, peso y volumen de 1000 granos (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con Luna-Ortega *et al.* (2013) y Gonzales *et al.* (2008). Los valores de heredabilidad bajos corresponden a caracteres complejos como rendimiento y cuantitativos como la variable fisiológica días a floración y caracteres de mazorca. Estos caracteres son foco de atención en todo programa de mejoramiento de maíz a corto, mediano y largo plazo, y requieren tiempo para incorporarse a las nuevas variedades mediante los esquemas genotécnicos convencionales de mejoramiento.

No obstante, también puede mejorarse localmente las poblaciones nativas de maíz por mejoramiento participativo o bien, en el otro extremo, identificarse poblaciones o individuos que poseen caracteres deseables mediante el uso de herramientas moleculares, y a partir de ello incorporar el carácter a la población o poblaciones objeto del mejoramiento.

**Cuadro 6. Componentes de varianza y heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ), en rendimiento y caracteres asociados.**

Variables evaluadas	Componentes de varianza					$H^2$
	Localidades (A)	Rep./ Loc.	Poblaciones (G)	G × A	Error	
Días a floración femenina	838.938	0.538	16.245	7.374	18.419	0.02
Longitud de mazorca	1.225	0.184	1.142	0.487	3.995	0.16
Diámetro de mazorca	0.109	0.005	0.058	0.033	0.165	0.16
Núm. de hileras en mazorca	0.073	0.0	1.280	0.134	2.953	0.29
Relación largo/ancho de grano	0.008	0.0	0.015	0.004	0.021	0.30
Peso de 1000 granos	4682.400	0.0	3424.90	769.82	2342.40	0.31
Volumen de 1000 granos	7061.600	0.0	7234.70	735.31	4111.30	0.38
Rendimiento kg/ 8 m <sup>2</sup>	34.067	4.903	15.29	16.20	119.45	0.08

Durante la evaluación de las poblaciones de maíz azul, en ambos ambientes, se detectaron poblaciones con desadaptaciones fuertes o con daños severos por plagas, enfermedades y acame, y no se obtuvo información agronómica. Estas poblaciones fueron: PUE-339 de Puebla, A-03 de Chalcatongo de Hidalgo, A-10 y A-21 de San Miguel El Grande, C-169 y C-190 de San Esteban Atlatlahuca, Oaxaca. En la evaluación realizada en Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán la floración femenina vario desde 106 a 140 días, detectándose dos grupos extremos; precoces para el sitio de 106 a 110 días y los tardíos de 120 a 140 días. Un comportamiento contrastante presentaron las poblaciones en Villa de Zaachila; los denominados precoces variaron de 70 a 74 días y los tardíos de 82 a 87 días. No obstante, los materiales precoces y tardíos mantuvieron el mismo patrón en ambos sitios (Cuadro 7). Los caracteres peso y volumen de 1000 granos están relacionados con la densidad y tamaño de grano. En este sentido las poblaciones sobresalientes en ambos ambientes fueron PUE-637, C-224 de Nochixtlán, C-313 y C-369 de Huajuapán de León, y C-334, C-337 y C-339 de Silacayoapan, estas últimas provenientes de comunidades con altitudes de menos de 1500 msnm, y corresponde a maíz azul de grano ancho.

**Cuadro 7. Comportamiento de poblaciones de maíz azul a través de ambientes, con base en floración femenina (FF), peso (PMG) y volumen de mil granos (VMG), y rendimiento (Rend., kg/ 8 m<sup>2</sup>).**

Colecta	Tooxi, Santo Domingo Yanhuitlán				Villa de Zaachila			
	FF	PMG	VMG	Rend.	FF	PMG	VMG	Rend.
A-01	116.3	351.7	460.0	2.5	75.4	237.5	325.5	1.1
A-02	106.0	200.0	288.3	4.7	69.8	250.0	332.5	3.8
A-05	115.7	388.3	488.3	2.2	75.8	165.0	235.0	1.4
A-06	139.3	328.3	446.7	1.7	85.5	160.0	237.5	0.7
A-07	125.3	338.3	441.7	2.3	76.2	230.0	313.0	2.3
A-08	119.0	280.0	408.3	2.4	78.4	160.0	260.0	1.7
A-09	112.3	300.0	398.3	1.8	73.2	178.6	264.0	1.9
A-11	117.7	332.5	417.5	5.8	77.2	200.0	300.0	2.7
A-12	110.3	286.7	418.3	2.9	74.6	237.0	334.0	3.6
A-13	122.7	378.3	486.7	2.5	78.6	260.0	331.7	0.7
A-14	116.0	360.0	466.7	3.9	76.6	196.7	301.7	1.2
A-15	113.0	318.3	420.0	2.4	75.2	220.0	310.0	1.5
A-16	106.3	253.3	346.7	3.6	73.0	146.7	250.0	1.3
A-17	112.3	276.7	405.0	3.0	75.0	210.0	300.0	1.4
A-19	117.3	366.7	480.0	2.2	76.8	186.7	281.7	2.2
A-20	118.0	386.7	478.3	2.5	76.4	240.0	225.0	1.9
A-22	111.0	273.3	391.7	2.6	74.0	200.0	340.0	3.1
A-23	116.3	331.7	421.7	2.8	74.8	235.0	313.8	1.7
A-24	115.0	343.3	445.0	3.4	75.6	217.0	294.4	1.6
A-25	109.3	320.0	436.7	3.3	73.0	177.5	232.5	2.0
A-26	116.0	330.0	450.0	2.2	75.4	200.0	280.0	3.9
A-28	107.3	360.0	475.0	5.3	73.2	206.0	322.0	2.3
A-29	108.7	310.0	416.7	0.8	72.4	225.0	315.0	1.5
A-31	117.3	286.7	385.0	3.3	75.8	212.0	274.0	2.2
A-32	114.0	345.0	445.0	3.1	75.0	218.7	296.7	1.5
A-27	108.3	323.3	451.7	3.9	73.6	183.8	292.5	1.5
C-12	124.3	310.0	421.7	2.0	82.4	222.0	300.0	1.9
C-02	117.0	373.3	475.0	2.8	78.0	230.0	357.5	2.0
C-05	135.3	310.0	428.3	2.5	82.0	228.0	328.0	1.3
C-54	134.0	336.7	458.3	2.1	78.6	300.0	425.0	1.1
C-66	118.7	325.0	428.3	2.6	78.2	293.0	396.8	1.5
C-107	107.7	288.3	348.3	2.3	72.8	226.7	274.3	1.5
C-112	109.0	253.3	316.7	2.7	72.2	210.0	270.0	1.2
C-125	108.3	311.7	431.7	2.1	73.4	160.0	225.0	2.5
C-129	120.7	288.3	391.7	3.0	75.6	195.0	287.5	3.5
C-131	109.7	356.7	446.7	4.9	72.2	240.0	333.0	2.5
C-145	112.7	280.0	398.3	6.4	72.4	183.3	286.7	1.3
C-163	106.0	260.0	386.7	4.0	72.8	217.3	324.3	2.0
C-167	111.3	356.7	446.7	5.1	73.4	347.0	477.0	2.2
C-172	117.7	360.0	463.3	2.8	78.2	215.0	245.0	2.1
C-179	116.3	285.0	391.7	4.3	76.4	222.5	287.5	1.9
C-184	122.0	343.3	461.7	2.2	79.6	222.0	306.0	1.4
C-185	131.3	333.3	438.3	2.4	81.0	310.0	345.0	0.8
C-189	117.3	340.0	416.7	3.5	77.8	190.0	270.0	2.3
C-197	110.3	331.7	435.0	1.7	73.6	245.0	347.5	2.7
C-216	113.0	373.3	516.7	2.3	73.2	367.5	466.3	2.9
C-223	114.3	381.7	470.0	2.5	74.8	264.0	332.0	2.0
C-224	124.0	401.7	516.7	1.7	78.2	290.4	423.0	1.3
C-231	109.0	403.3	488.3	3.7	71.6	282.0	341.0	3.1
C-233	117.7	380.0	487.5	2.5	74.0	320.0	440.0	3.7
C-267	108.3	351.7	461.7	2.4	70.6	243.0	325.0	1.7
C-283	115.3	510.0	713.3	1.8	73.6	480.0	668.0	1.9
C-305	116.7	560.0	776.7	1.4	75.6	486.0	652.0	1.5
C-313	118.0	458.3	653.3	2.6	75.2	380.0	488.0	1.5
C-334	117.3	430.0	643.3	1.7	75.4	464.0	644.0	1.8
C-337	120.0	491.7	698.3	2.2	75.6	408.0	579.0	2.0
C-339	121.0	428.3	628.3	1.3	74.4	400.0	566.0	1.9
C-363	129.7	366.7	476.7	1.7	86.4	225.0	306.3	0.9
C-369	119.0	430.0	576.7	1.8	75.6	352.5	468.8	2.4
C-372	119.3	388.3	545.0	1.6	77.6	110.0	160.0	0.7
C-HUA09	117.0	376.7	455.0	2.1	75.4	218.0	303.0	2.6
PUE-636	115.7	433.3	643.3	2.6	76.4	191.5	334.5	1.5

<b>PUE-637</b>	115.0	388.3	560.0	2.4	76.0	300.0	400.0	1.9
<b>PUE-651</b>	134.7	320.0	413.3	3.2	73.0	239.0	349.6	2.0

En relación al rendimiento de grano por parcela experimental (kg/8 m<sup>2</sup>), la variación fue alta en Tooxi, Santo Domingo Yanhuítlán, desde 0.8 a 6.4 kg/8 m<sup>2</sup> (1 a 8 ton/ha, aproximadamente) y en Villa de Zaachila desde 0.7 a 3.9 kg/8 m<sup>2</sup> (0.875 a 4.875 ton/ha, aproximadamente), con diferencias importantes entre poblaciones dentro de cada ambiente de evaluación. No obstante, la variabilidad evaluada permitió identificar a un grupo de poblaciones con rendimientos constantes altos, entre las que se destacaron: A-02 y C-129 de Chalcatongo de Hidalgo, A-11 y A-28 de San Miguel El Grande, C-189 de San Esteban Atlatlahuca, C-231 de Nochixtlán y C-337 de Silacayoapan (Cuadro 7). Estos rendimientos son comparables, aunque inferiores a los obtenidos por Arellano *et al.* (2013) en variedades de maíz azul de los Valles Altos de México, desde 7.52 a 8.16 kg/8 m<sup>2</sup>. En el ciclo primavera-verano 2013 se presentó una alta variabilidad en la estación de lluvias y temperaturas, de localidad a localidad, lo que influyó tanto en la floración femenina como en el rendimiento.

De acuerdo con los índices de estabilidad no paramétrica de Huehn (Huehn, 1979; Nassar y Huehn, 1987), se lograron identificar, de manera simplificada, las poblaciones de maíz azul con mayor grado de estabilidad en días a floración, peso y volumen de 1000 granos y rendimiento experimental, entre esta fueron: A-01, A-07, A-23, C-223, C-224, C-305 y C-334. En un segundo grupo se identificaron poblaciones estables en rendimiento, entre ellas: A-19, A-25, C-12, C-05, C-189 y C-313, las que no necesariamente fueron estables en días a floración masculina ni en peso y volumen de 1000 granos. Las demás poblaciones pueden catalogarse como inestables en uno o más caracteres medidos para estabilidad fenotípica por el método no paramétrico utilizado (Cuadro 8). Es de esperarse que la inestabilidad de algunas poblaciones o su interacción con el ambiente hace que respondan favorablemente con mayor rendimiento cuando se mejoran las condiciones agroecológicas y de manejo del cultivo como se describen en el Cuadro 7 al contrastarse con el comportamiento de estabilidad en el Cuadro 8. Por ejemplo, las poblaciones A-02, A-11, A-28, A-131, A-145, C-163, C-167 y C-179 en Yanhuítlán presentaron un rendimiento de grano mayor a 4.0 kg/8 m<sup>2</sup> (5 ton/ha, aproximadamente), pero fueron inestables en rendimiento y otras características en Zaachila.

**Cuadro 8. Parámetros de estabilidad no paramétrica para floración femenina (FF), peso (PMG) y volumen de mil granos (VMG) y rendimiento (Rend., kg/ 8 m<sup>2</sup>).**

Colecta	Florac. femenina		Peso mil granos		Vol. mil granos		Rendimiento experimental (kg/ 8 m <sup>2</sup> )				
	S <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(6)</sup>	Suma S's
A-01	0.5	0.1	0.5	0.1	2.0	2.0	29.0	222.5	6.8	0.89	259.2
A-02	0.5	0.1	45.0	1012.5	2.0	2.0	4.0	816.3	25.1	0.12	845.5
A-05	13.0	84.5	53.0	1404.5	33.5	561.1	1.0	992.5	30.5	0.03	1024.0
A-06	1.0	0.5	22.0	242.0	23.0	264.5	14.0	391.3	12.0	0.43	417.7
A-07	18.0	162.0	3.5	6.1	2.0	2.0	29.0	222.5	6.8	0.89	259.2
A-08	9.0	40.5	4.0	8.0	6.5	21.1	14.0	391.3	12.0	0.43	417.7
A-09	4.0	8.0	7.0	24.5	5.5	15.1	39.0	422.5	13.0	1.20	475.7
A-11	6.0	18.0	13.0	84.5	1.0	0.5	61.0	1742.5	53.6	1.88	1859.0
A-12	9.5	45.1	27.5	378.1	11.0	60.5	55.0	1262.5	38.8	1.69	1358.0
A-13	2.5	3.1	7.0	24.5	6.0	18.0	41.0	492.5	15.2	1.26	550.0
A-14	18.0	162.0	32.0	512.0	7.0	24.5	55.0	1262.5	38.8	1.69	1358.0
A-15	8.5	36.1	7.0	24.5	2.5	3.1	1.0	992.5	30.5	0.03	1024.0
A-16	9.0	40.5	0.5	0.1	1.0	0.5	47.0	762.5	23.5	1.45	834.5
A-17	9.5	45.1	14.5	105.1	2.5	3.1	35.0	312.5	9.6	1.08	358.2
A-19	8.5	36.1	38.5	741.1	17.0	144.5	31.0	242.5	7.5	0.95	282.0
A-20	1.0	0.5	14.5	105.1	35.5	630.1	10.0	531.3	16.3	0.31	557.9
A-22	5.5	15.1	12.0	72.0	15.5	120.1	43.0	572.5	17.6	1.32	634.4

A-23	8.5	36.1	9.5	45.1	4.5	10.1	18.0	291.3	9.0	0.55	318.9
A-24	12.5	78.1	11.5	66.1	4.0	8.0	43.0	572.5	17.6	1.32	634.4
A-25	1.0	0.5	15.5	120.1	19.5	190.1	31.0	242.5	7.5	0.95	282.0
A-26	2.5	3.1	10.0	50.0	13.5	91.1	63.0	1922.5	59.2	1.94	2046.6
A-28	10.5	55.1	28.0	392.0	2.5	3.1	59.0	1572.5	48.4	1.82	1681.7
A-29	3.5	6.1	14.5	105.1	8.0	32.0	55.0	1262.5	38.8	1.69	1358.0
A-31	0.0	0.0	10.5	55.1	0.0	0.0	18.0	291.3	9.0	0.55	318.9
A-32	4.5	10.1	10.5	55.1	3.0	4.5	37.0	362.5	11.2	1.14	411.8
A-27	12.0	72.0	14.0	98.0	8.0	32.0	52.0	1056.3	32.5	1.60	1142.4
C-12	6.0	18.0	11.5	66.1	1.5	1.1	27.0	212.5	6.5	0.83	246.8
C-02	16.0	128.0	15.0	112.5	2.5	3.1	1.0	992.5	30.5	0.03	1024.0
C-05	2.0	2.0	17.0	144.5	8.5	36.1	27.0	212.5	6.5	0.83	246.8
C-54	4.5	10.1	20.5	210.1	11.0	60.5	9.0	572.5	17.6	0.28	599.4
C-66	8.5	36.1	26.0	338.0	23.5	276.1	11.0	492.5	15.2	0.34	519.0
C-107	3.5	6.1	20.5	210.1	0.0	0.0	4.0	816.3	25.1	0.12	845.5
C-112	7.0	24.5	18.0	162.0	1.0	0.5	33.0	272.5	8.4	1.02	314.9
C-125	9.5	45.1	16.0	128.0	21.0	220.5	41.0	492.5	15.2	1.26	550.0
C-129	18.0	162.0	0.5	0.1	0.5	0.1	47.0	762.5	23.5	1.45	834.5
C-131	9.5	45.1	0.5	0.1	4.0	8.0	49.0	872.5	26.8	1.51	949.8
C-145	14.5	105.1	1.0	0.5	0.5	0.1	63.0	1922.5	59.2	1.94	2046.6
C-163	8.0	32.0	21.0	220.5	11.5	66.1	45.0	662.5	20.4	1.38	729.3
C-167	1.5	1.1	13.0	84.5	17.0	144.5	57.0	1412.5	43.5	1.75	1514.8
C-172	12.5	78.1	24.0	288.0	26.0	338.0	10.0	531.3	16.3	0.31	557.9
C-179	12.5	78.1	21.0	220.5	0.5	0.1	52.0	1056.3	32.5	1.60	1142.4
C-184	6.0	18.0	6.0	18.0	5.5	15.1	5.0	762.5	23.5	0.15	791.2
C-185	0.0	0.0	23.0	264.5	13.0	84.5	39.0	422.5	13.0	1.20	475.7
C-189	11.5	66.1	22.0	242.0	3.5	6.0	25.0	212.5	6.5	0.77	244.8
C-197	4.5	10.1	16.5	136.1	13.0	84.5	59.0	1572.5	48.4	1.82	1681.7
C-216	7.5	28.1	6.5	21.1	2.5	3.1	55.0	1262.5	38.8	1.69	1358.0
C-223	1.5	1.1	8.0	32.0	0.0	0.0	19.0	272.5	8.4	0.58	300.5
C-224	2.5	3.1	11.0	60.5	5.5	15.1	23.0	222.5	6.8	0.71	253.0
C-231	8.5	36.1	13.0	84.5	6.5	21.1	14.0	391.3	12.0	0.43	417.7
C-233	23.5	276.1	0.0	0.0	1.0	0.5	61.0	1742.5	53.6	1.88	1859.0
C-267	6.0	18.0	4.5	10.1	1.5	1.1	17.0	312.5	9.6	0.52	339.6
C-283	8.0	32.0	6.0	18.0	6.0	18.0	36.0	336.3	10.3	1.11	383.7
C-305	1.5	1.1	6.0	18.0	6.0	18.0	33.0	272.5	8.4	1.02	314.9
C-313	17.5	153.1	8.0	32.0	8.0	32.0	22.0	231.3	7.1	0.68	261.1
C-334	8.0	32.0	2.5	3.1	3.5	6.1	36.0	336.3	10.3	1.11	383.7
C-337	17.0	144.5	7.0	24.5	7.0	24.5	25.0	212.5	6.5	0.77	244.8
C-339	34.0	578.0	3.0	4.5	4.0	8.0	49.0	872.5	26.8	1.51	949.8
C-363	5.0	12.5	17.0	144.5	8.0	32.0	7.0	662.5	20.4	0.22	690.1
C-369	13.0	84.5	7.5	28.1	5.0	12.5	51.0	992.5	30.5	1.57	1075.6
C-372	1.0	0.5	58.0	1682.0	44.5	990.1	7.0	662.5	20.4	0.22	690.1
C-HUA09	5.0	12.5	27.0	364.5	5.0	12.5	45.0	662.5	20.4	1.38	729.3
PUE-636	18.0	162.0	53.0	1404.5	9.5	45.1	14.0	391.3	12.0	0.43	417.7
PUE-637	17.5	153.1	6.5	21.1	7.0	24.5	21.0	242.5	7.5	0.65	271.7
PUE-651	56.0	1568.0	18.5	171.1	20.0	200.0	22.0	231.3	7.1	0.68	261.1

Con base en trabajos previos de comparación de medidas paramétricas y no paramétricas para medir estabilidad de genotipos, indican que ambos enfoques son complementarios (Akcura y Kaya, 2008; Mohammadi *et al.*, 2009; Delic *et al.*, 2009; Kilic, 2012). En este estudio, los índices de Huehn utilizados reflejaron la interacción población-localidades de evaluación y ayudaron a definir, con mayor fiabilidad, la estabilidad de las poblaciones no solo basadas en su comportamiento del rendimiento de grano.

Es importante remarcar que la colección evaluada, teóricamente, proviene de poblaciones altamente variables y heterogéneas lo que se observó en alta variabilidad de respuesta promedio a través de localidades.

## CONCLUSIONES

Las poblaciones de maíz azul evaluadas presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) a través de localidades de evaluación, las localidades también mostraron contrastes significativos de respuesta en el comportamiento promedio de las poblaciones, y se presentaron interacciones significativas entre localidades y poblaciones evaluadas. Todo esto en relación a floración femenina, diámetro, longitud e hileras de granos en mazorca, longitud y ancho de grano, peso y volumen de 1000 granos, y rendimiento experimental. Las estimaciones de mazorcas enfermas con pudriciones y dañadas por plagas, y porcentaje de acame difirieron significativamente ( $p < 0.05$ ) entre poblaciones y entre localidades de evaluación, pero no en la interacción localidades-poblaciones. Las afectaciones de mazorcas enfermas por pudriciones y daños por plagas, porcentaje de acame y desadaptaciones hizo que no se obtuviera información agronómica, en ambos ambientes, para las poblaciones siguientes: PUE-339 de Puebla, A-03 de Chalcatongo de Hidalgo, A-10 y A-21 de San Miguel El Grande, C-169 y C-190 de San Esteban Atlatlahuca, Oaxaca.

En análisis de componentes de varianza fenotípica, reflejó que la varianza ambiental fue significativamente más importante que la varianza genotípica y que la varianza de la interacción genotipo-ambiente, en todos los caracteres agronómicos evaluados, excepto en número de hileras en mazorca, relación largo/ancho de grano y volumen de 1000 granos. En estos casos la varianza genotípica fue mayor que la ambiental y se reflejó en altos valores de heredabilidad en el sentido amplio ( $0.28 < H^2 < 0.39$ ). Los valores bajos de heredabilidad ( $< 1.0$ ) en rendimiento de grano por parcela experimental y días a floración indican que son caracteres complejos, y que las poblaciones nativas fueron altamente variables para estos caracteres. Los estimadores no paramétricos de estabilidad de Huehn permitieron identificar dos grupos de poblaciones sobresalientes: 1) poblaciones de maíz azul con mayor grado de estabilidad en días a floración, peso y volumen de 1000 granos y rendimiento experimental, entre estas: A-01, A-07, A-23, C-223, C-224, C-305 y C-334; y 2) un grupo de poblaciones estables en rendimiento: A-19, A-25, C-12, C-05, C-189 y C-313, las que no necesariamente fueron estables en días a floración masculina ni en peso y volumen de 1000 granos.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Castillo, J. A., A. Carballo-Carballo, F. Castillo-González, A. Santacruz-Varela, J. A. Mejía-Contreras, J. Crossa-Hiriarte, G. Baca-Castillo. 2006. Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza jala de maíz. *Agricultura Técnica en México* 32: 57-66.
- Akcura, M. and Y. Kaya. 2008. Nonparametric stability methods for interpreting genotype by environment interaction of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Genetic and Molecular Biology* 31: 906-913.
- Ángeles-Gaspar, E., E. Ortiz-Torres, P.A. López, G. López-Romero. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 287-296.
- Antonio, M. M., J. L. Arellano V., G. García de-los-S., S. Miranda C., J. A. Mejía C., F. V. González C. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 9-15.

- Arellano, V. J. L., C. Tut C., A. María R. Y. salinas M., O. R. Taboada G. 2003. Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 101-107.
- Becker, H. C. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23.
- Carballoso-Torrecilla, V., A. Mejía-Contreras., S. Balderrama-Castro., A. Carballo- Carballo, F. V. González-Cossio. 2000. Divirgencia en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Agrociencia*. 34 (2): 167-174.
- Cadena-Meneses, J. A. y A. Castillo-Morales. 2000. Una comparación de SAS y Harvey en la estimación de componentes de varianza en modelos mixtos. *Agrociencia* 34: 57-68.
- Castro-Nava, S., V. H. Ramos-Ortíz, C. A. Reyes-Méndez, F. Briones-Encina, J. A. López-Santillán. 2011. Preliminary field screening of maize landrace germplasm from northeastern Mexico under high temperatures. *Maydica* 56: 77-82.
- CIMMYT, programa de maíz del CIMMYT. 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en campo. CIMMYT. México, D. F. 118 p.
- Crossa, J., M. Vargas, A. K. Joshi. 2010. Linear, bilinear, and linear-linear fixed and mixed models for analyzing genotype x environment interaction in plant breeding and agronomy. *Canadian Journal of Plants Science* 90: 561-578.
- Delic, N., G. Stankovic, K. Konstantinov. 2009. Use of non parametric statistics in estimation of genotypes stability. *Maydica* 54:155-160.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6:36-40.
- Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- Gauchan, H. G., H. P. Piepho, P. Annicchiarico. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science* 48: 866-889.
- González. H. A., D. J. Pérez L., A. Domínguez L., O. Franco M., A. Balbuena M., A. Ramos M. J. Sahagún C. 2008. Variabilidad genética, diversidad fenotípica e identificación de poblaciones sobresalientes de maíz cacahuacintle. *Ciencia ergo sum* 15: 297-305.
- González, H. A., J. Sahagún C., D. J. Pérez L., A. Domínguez L., R. Serrato C., V. Landero F., E. Dorantes C. 2006. Diversidad fenotípica del maíz cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 255-261.
- Hortelano, S. R., R. A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C., L. Córdova T. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189-200.
- Huehn, M. 1979. Beitrag zur erfassung der phanotypischen stabilitat. *EDV in Medizin und Biologie* 10:112-117.
- Huehn, M. 1990a. Nonparametric measures of phenotypic stability. 1. Theory. *Euphytica* 47:189-194.
- Huehn, M. 1990b. Nonparametric measures of phenotypic stability. 2. Applications. *Euphytica* 47:195-201.
- Khuri, A. I. 2000. Designs for variance components estimation: past and present. *International Statistical Review* 68: 311-322.
- Kilic, H. 2012. Assessment of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted spring bread wheat genotypes in multi-environments. *The Journal of Animal and Plants Science* 22: 390-398.

- López-Romero, G., A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez, H. Vaquera-Huerta. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30: 284-290.
- Luna-Ortega, J. G., J. L. García-Hernández., R. D. Valdez-Cepeda., M. A. Gallegos- Robles., P. Preciado-Rangel., C. Guerrero-Guerrero A. Espinoza-Banda. 2013. Aptitud combinatoria y componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y Ciencia* 29: 243-253.
- Mohammadi, R., M. Aghae, R. Haghparast, S. S. Pourdard, M. Rostaii, Y. Ansari, A. Abdolahi and A. Amri. 2009. Association among non-parametric measures of phenotypic stability in four annual crops. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Sciences and Biotechnology* 3(Spec. 1): 20-24.
- Nassar, R. and M. Huehn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for non-parametric measures of phenotypic stability. *Biometrics* 43: 45-53.
- Ortega C., A. 1987. Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en campo. CIMMYT. México, D.F. 106 p.
- Pecina-Martínez, J., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43: 581-694.
- Pecina-Martínez, J., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R., J. Ortiz C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 85-92.
- Piepho, H. P., and S. Lotito. 1992. Rank correlation among parametric and nonparametric measures of phenotypic stability. *Euphytica* 64: 221-225.
- Rodríguez, P. J. E., J. Sahagún C., H. E. Villaseñor M., J. D. Molina G., A. Martínez G. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:143-151.
- Statistical Analysis System (SAS). 2000. Statistics Analysis system. Software Release 8.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Shimelis, H. and R. Shiringani. 2010. Variance component and heritabilities of yield and agronomic traits among cowpeas genotypes. *Euphytica* 176:383-389.
- Smith, M. E., F. Castillo G. and F. Gómez. 2001. Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Euphytica* 122: 551-565.
- Vargas Escobar, E. A., J. E. Vargas Sánchez, D. Baena García. 2016. Analysis of stability and adaptability of QPM hybrids of maize growing in different Colombian agroecological zones. *Acta Agronómica* 65 (1): 72-79.
- Vielle-Calzada, J. P. and J. Padilla. 2009. The Mexican landraces: description, classification and diversity. *In: Handbook of Maize: Its Biology*. J. L. Bennetzen and S. C. Hake (eds.). Springer Science, Ney York, NY, USA. pp: 543-561.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts y E. X. Hernández (en colaboración con P. C. Mangelsdorf). 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaria de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 237 p.
- Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
- Yan, W., M. S. Kang, B. Ma, S. Woods and P. L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science* 47:643-655.
- Zambrano, Z. E. E., J. R. Francisco L. A., F. D. Alarcón C., J. P. Villavicencio L., M. Brainer Caicedo V., J. F. Eguez M., J. L. Zambrano M. 2017. Interacción genotipo ambiente de

híbridos de maíz bajo temporal en Manabí y los ríos, Ecuador. Revista ESPAMCIENCIA 8(1): 7-14.