



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

**EL SISTEMA MILPA EN TABASCO PUEDE SERVIR
PARA CONVERTIR A LA REGIÓN EN UNO DE LOS
GRANEROS DE MÉXICO**

JUAN SALVADOR RAMÍREZ GÓMEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Juan Salvador Ramírez Gómez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Roberto de la Rosa Santamaría, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis EL SISTEMA MILPA EN TABASCO PUEDE SERVIR PARA CONVERTIR A LA REGION EN UNO DE LOS GRANEROS DE MEXICO.

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 14 de FEBRERO de 2019



Firma del
Alumno (a)



Salvador Miranda Colin

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **El sistema milpa en Tabasco puede servir para convertir a la región en uno de los graneros de México**, realizada por el alumno: **Juan Salvador Ramírez Gómez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



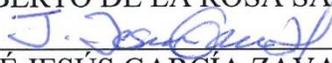
Dr. SALVADOR MIRANDA COLÍN

DIRECTOR:



Dr. ROBERTO DE LA ROSA SANTAMARÍA

ASESOR:



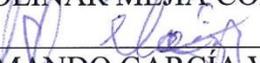
Dr. JOSÉ JESÚS GARCÍA ZAVALA

ASESOR:



Dr. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

ASESOR:



Dr. JOSÉ ARMANDO GARCÍA VELÁZQUEZ

ASESOR:



Dr. LUIS MANUEL VARGAS VILLAMIL

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2019

EL SISTEMA MILPA EN TABASCO PUEDE SERVIR PARA CONVERTIR A LA REGIÓN EN UNO DE LOS GRANEROS DE MEXICO

Juan Salvador Ramírez Gómez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

La preservación de los sistemas tradicionales de producción agrícola, como la milpa, son temas estratégicos de seguridad alimentaria en México. En la milpa existe diversidad genética de cultivos nativos como el maíz, la calabaza y el frijol, los cuales pueden contribuir a satisfacer la demanda de alimentos para la población, así como eficientar el uso de la tenencia de la tierra. Por eso, en este trabajo se estudió el efecto del arreglo topológico en el sistema milpa sobre su productividad y la evaluación de líneas de maíz dosmesano. El estudio se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco y tuvo como objetivo evaluar la respuesta del maíz (*Zea mays* L.) nativo tropical dosmesano, a diferentes arreglos topológicos, para conocer su potencial de adaptación a sistemas de alta productividad acorde a los ecosistemas del trópico húmedo. Con base en esto se realizó una primera evaluación en la temporada de secas 2016, estableciendo un experimento factorial 2^3 para conocer el potencial productivo del maíz nativo bajo alta densidad de siembra, combinando surcos separados a 0.80 y 1.0 m, (S80 y S100, respectivamente), matas separadas a 0.20 y 0.25 m con 1 y 2 semillas por mata (1S y 2S, respectivamente). Adicionalmente, se sembró un testigo regional (TR) de 1 m entre surcos x 1 m entre matas x 4 semillas/mata y un testigo regional modificado (TRM) con 0.8 m entre surcos x 1.0 m entre matas x cuatro semillas/mata. Los materiales se distribuyeron en bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las densidades de siembra resultantes fueron: 40,000, 50,000, 62,500, 80,000, 100,000 y 125,000 plantas ha^{-1} , con diferente arreglo topológico. Se evaluaron las variables días a 50 % de anthesis (50 % A) y 50 % de jiloteo (50 % J) después de la siembra, altura de mazorca (AM), altura de planta (AP), relación AP/AM, porcentaje de acame (PA), correlación entre (AP/AM)/PA, porcentaje de plantas jorras (PPJ), porcentaje de prolificidad (PP), y rendimiento de grano (RG $kg\ ha^{-1}$). El mayor RG fue de 3836 $kg\ ha^{-1}$, y se observó en S100 x 2S, superando al rendimiento del TR que produjo 2198 $kg\ ha^{-1}$. En un segundo estudio se evaluó el comportamiento agronómico de 25 líneas S_1 de maíz dosmesano, derivadas de una población bajo selección. La siembra se realizó el día 13 de febrero de 2017 en surcos separados a una distancia de 0.80 m y 0.20 m entre plantas; se sembraron dos surcos por línea y una semilla por mata. Las líneas evaluadas se distribuyeron bajo un diseño experimental de

bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Entre líneas hubo diferencias significativas para RG ($P = 0.0001$) con valores promedio de 7784, 7519 y 7080 kg ha⁻¹. Entre los materiales se observaron fenotipos con características deseables, como la prolificidad, y se decidió realizar un tercer estudio en donde se evaluaron 14 líneas prolíficas de maíz nativo en dos ciclos de cultivo: en la de lluvias de 2016 y en la de secano de 2017. El objetivo fue conocer la respuesta agronómica de líneas prolíficas S₁ de maíz nativo tropical dosmesano a diferentes regímenes de humedad y determinar su potencial productivo. Los materiales fueron sembrados en surcos separados a una distancia de 0.80 m y 0.20 m entre plantas, sembrándose un surco por línea y una semilla por mata, distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se encontraron diferencias significativas entre un ciclo y otro para rendimiento, pero no para prolificidad (PP). En la época de lluvias el rendimiento promedio fue de 4682 kg ha⁻¹, mientras que en la de secas bajó a 3296 kg ha⁻¹. Para PP, las líneas 4 y 9 se mantuvieron estables de un periodo a otro. De los estudios anteriores se concluyó que existe potencial en el maíz nativo tropical dosmesano para ser sembrado y responder bien en elevadas densidades poblacionales. Así mismo, del maíz dosmesano es posible derivar líneas endogámicas con características de alta productividad, debido a su RG por mazorca o por sus niveles de prolificidad.

Palabras clave: *Zea mays* L., maíz nativo dosmesano, arreglo topológico, alta densidad, líneas endogámicas, prolificidad, rendimiento.

THE MILPA SYSTEM IN THE STATE OF TABASCO CAN MAKE THE REGION TO
BECOME ONE OF THE CORN SUPPLIERS OF MEXICO

Juan Salvador Ramírez Gómez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The preservation of the traditional production systems, as the milpa, is a strategic issue for the food security in Mexico. In the milpa, there is genetic diversity of native crops such as maize, pumpkin, and bean which can contribute to satisfy the food demand required for the Mexican human population, on one hand, and lead to the efficient land use, on the other hand. In this work, the effect of the field arrangement over the milpa system was studied, as well as the agronomic performance of corn inbreds, derived from a population of tropical native corn known as dosmesano. Thus, a factorial design was established to evaluate the productive potential of the dosmesano tropical native maize (*Zea mays* L), under different population densities. Treatments consisted on rows separated by 0.8 and 1.0 m x .20 and .25 m between plants x 1 and 2 seeds/well. Two regional controls were planted with rows separated by 0.8 or 1.0 m x 1.0 m between plants x four seeds/well. Treatments were allocated under a randomized complete block design, with three replications. The derived population densities were 40,000, 50,000, 62,500, 80,000, 100,000, and 125,000 plants/ha, with different topological arrangement. The recorded traits were: days to 50 % anthesis (50 % A) and 50 % silking (50 % S) after planting, plant height (PH), ear height (EH), lodging percentage (LP), barren plants percentage (BPP), prolificacy percentage (PP), PH/EH and (PH/EH)/LP correlation, and grain yield (GY; kg ha⁻¹). Significant double interaction was determined by distance between rows x seed number/well for GY (P = 0.0005) and BPP (P = 0.0039). The highest GY, 3,836 kg ha⁻¹, was observed in rows at 1 m x 2 seeds/well, with 80,000 plants ha⁻¹, which overpassed the regional controls that yielded 2,088 and 2,198 and kg ha⁻¹, respectively. The highest BPP, 73 %, was observed in rows at .80 m x 2 seeds/well. Significant triple interaction was detected for PH (P = 0.0031) and EH (P = 0.0392), both in rows at .80 m x .20 m among plants x 1 seed/well, with 2.67 m and 1.26 m, respectively. Significant simple effects of number of seeds/well were detected for PP (P=0.0221), with 17 and 4 % with 1 and 2 seeds/well, respectively. No significant effects were detected for days to 50 % A and 50 % S, LP, and the (PH/EH) or (PH/EH)/LP correlation. The observed GY suggests that the material studied could be

grown under high population density.

In a second study, 25 *S₁* dosmesano corn inbreds were evaluated. They were planted on february 13th 2017, each in two rows separated by 0.80 m and a seed every 0.20 m within rows; the treatments were allocated in a randomized complete block design, with four replicates. There were significant differences among inbreds for grain yield ($P=0.0001$) with mean values from 7080 to 7784 kg ha⁻¹. In the base population, individuals with desirable phenotypic traits, such as high prolificacy, were identified, so that 14 inbreds were picked up to be evaluated in two seasons: summer 2016 and spring 2017. The objective was to know the agronomic response of prolific *S₁* inbred lines, to determine their productive potential. The materials were planted in individual rows separated by 0.80 m, and one seed every 0.20 m within rows; they were allocated in a randomized complete block design with four replicates. There were significant differences for grain yield between seasons. In summer 2016, the grain yield mean value was 4682 kg ha⁻¹; in contrast, in spring 2017, that value corresponded to 3296 kg ha⁻¹. There were no significant differences for prolificacy, between seasons; however, inbreds 4 and 9 were stable for prolificacy in both seasons, with 3 and 7%, respectively. From these studies, it was concluded that there is a high potential for the tropical dosmesano native maize to be grown under higher population densities; in addition, it is possible to derive from that population inbred lines with high productivity, due to their grain yield, or their prolificacy levels.

Key words: *Zea mays* L., native maize, high population density, inbreeding lines, prolificacy, grain yield.

DEDICATORIA

A mi padre y hermanos[†] que en paz descansen.

A mi madre por no desistir y darme la oportunidad de vivir

A mi compañera y esposa: Lucia, por su amor, apoyo, motivación y comprensión.

A mis hijos: René y Evelin Jasmín, por su amor, paciencia y quienes alientan mis deseos de superación

A mis familiares y amigos por sus buenos deseos y apoyo motivacional

A mi México lindo va esta inspiración

El Maíz

Qué es el maíz
Que en esta tierra nació
Para dar sustento a mi gente
Un regalo de Dios

Planta prodigiosa
Con mucho valor
En sus granos el almidón
Pigmentos con dulce sabor

La tortilla y el pozol
Alimentos con mucho valor
Sabor y nutrición no hay mejor alimento
Para los mexicanos es nuestro maíz, sí señor.

AGRADECIMIENTOS

A Jehová Dios, por su infinita bondad en brindarme la vida, paciencia, fortaleza para superar los obstáculos y el entendimiento en la realización de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por apoyarme con una beca para la realización de mis estudios de Doctorado en el Colegio de Postgraduados.

Al Colegio de Postgraduados Campus – Montecillo, por la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado entre uno de sus programas de excelencia PREGEP-Genética.

A mi Consejo Particular, formado por el Dr. Salvador Miranda Colín; Dr. Roberto de la Rosa Santamaría, Dr. J. Jesús García Zavala, Dr. J. Apolinar Mejía Contreras, Dr. Armando García Velásquez y Dr. Luis Manuel Vargas Villamil, por sus atenciones, asesorías y sugerencias en la tesis.

Al Dr. Roberto de la Rosa Santamaría quien estuvo dirigiéndome en la realización de este trabajo, así como su opinión y sugerencias al respecto.

Al Dr. Salvador Miranda Colín, por sus atenciones y motivaciones en la realización de mis estudios, así como en este trabajo.

Al Dr. Luis Manuel Vargas Villamil, por sus buenos deseos y sugerencias.

Al Dr. Javier Suarez, por su atención y disponibilidad en el análisis de los datos con SAS.

Al Dr. Julio Sánchez, por su amistad y consejos.

Al Dr. Jesús Ramos, por sus comentarios y apoyo motivacional.

A mi sobrina Paola Ramírez, por el apoyo en la captura de los datos en Excel.

Al M. C. Francisco Izquierdo, por el apoyo en el análisis factorial de los datos.

A José Luis (Wuicho), por apoyarme en la logística y estar siempre al pendiente de los avances académicos, así como por su amistad

A la Sra. Leonor, por sus buenos deseos y su apoyo en trámites académicos

A la Sra. Dalila[†] Torres Venegas, por sus buenos deseos y apoyo incondicional como estudiante,

A la Lic. M. Patricia Campos Palacios, al Ing. Iván R. Caballero Miranda y Janette Espejel Miranda, por apoyarme en los trámites académicos así como por su amistad.

Al M.C. Gerardo Casales Buenrostro por su amistad, y apoyo en los análisis de los datos en R.

A la Dra. Silvia Iveth Moreno Gaytán, por su amistad y compañerismo

A la M.C. Janet Fuentes Castillo, por su amistad y buenos deseos

A todos los Profesores(as), del COLPOS y Campus Montecillo, que transmitieron sus conocimientos para la formación profesional de mi persona.

A mis compañeros de la generación 2014-2018 y amigos, entre ellos a: Viví, Fer, Araceli, Tere, Emma, Ana, Faustino, Jesús, Manuel, Fátima, Irma, Santiago, Roberto, Juan, Viry, Rosita, Isa, Naty, Quiahua, Joshua, Marco, Netly, Oscar, Sandy, Meli, Néstor, Vicky, Orlando, Lucí, Raúl, Reyes, Lore, Lili, Karen, Lu, Cesar, Bety, Betsi, Benja, Antonie, Ale, Leo, Josué, Claudia, Consuelo, Gaby, Fanny, Pau, Ami, Toni, por su compañerismo, amistad y motivación.

Así como a todas esas personas que en algún momento conocí y conviví con ellas e hicieron más ameno este compromiso.

GRACIAS

CONTENIDO

PAG

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Problemática	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivo.....	2
1.4 Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Producción nacional.....	3
2.2 Maíces nativos	3
2.3 Literatura citada	5
CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE MAÍZ NATIVO TROPICAL DOSMESANO, BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA.....	9
1.1 Resumen.....	9
1.2 Introducción	10
1.3 Materiales y métodos	12
1.3.1 Localización del experimento.....	12
1.3.2 Material vegetativo	12
1.3.3 Testigo regional y testigo regional modificado	12
1.3.4 Diseño de tratamientos	12
1.3.5 Establecimiento del experimento.....	13
1.3.6 Manejo agronómico.....	13
1.3.7 Variables evaluadas	14
1.3.8 Diseño experimental	14
1.3.9 Análisis estadístico	15
1.4 Resultados y Discusión	15
1.5 Conclusiones	21

1.6 Literatura citada	21
CAPÍTULO II. EVALUACIÓN TEMPRANA DE LÍNEAS ENDOGÁMICAS S₁ DE MAÍZ DOSMESANO	26
2.1 Resumen.....	26
2.2 Introducción	27
2.3 Materiales y Métodos.....	28
2.3.1 Manejo agronómico, variables evaluadas y análisis de datos	29
2.4 Resultados y Discusión	30
2.5 Conclusiones	33
2.6 Literatura citada	33
CAPÍTULO III. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LÍNEAS PROLÍFICAS S₁ DE MAÍZ NATIVO TROPICAL DOSMESANO	36
3.1 Resumen.....	36
3.2 Introducción	37
3.3 Materiales y métodos	38
3.3.1 Localización del experimento.....	38
3.3.2 Diseño experimental	38
3.3.3 Germoplasma y establecimiento de la parcela	39
3.3.4 Manejo agronómico.....	39
3.3.5 Variables evaluadas	39
3.4 Resultados y discusión.....	40
3.4.1 Comportamiento de los fenotipos entre estaciones de cultivo	40
3.4.2 Comportamiento dentro de ciclos.....	43
3.4.2.1 Lluvias 2016.....	43
3.4.2.2 Secas 2017.....	44
3.4.3 Comportamiento entre líneas de una estación a otra	46
3.5 Conclusiones	48
3.6 Literatura citada	49
DISCUSIÓN GENERAL.....	51
CONCLUSIONES GENERALES	52

LISTA DE CUADROS

Cuadro	PAG.
3. 1 Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento agronómico de maíz nativo tropical dosmesano, en alta densidad poblacional. Cárdenas, Tabasco, 2016.	13
3. 2 Cuadrados medios de ocho variables de maíz dosmesano evaluado en 10 tratamientos de alta y baja densidad poblacional. Cárdenas, Tabasco, 2016.	16
3. 3 Medias de Rendimiento de grano (RG) de maíz nativo tropical dosmesano, con base en la doble interacción distancia entre surcos x número de semillas/mata, y los testigos regionales. Cárdenas, Tabasco, México. 2016.	17
3. 4 Medias de porcentaje de plantas jorras (PPJ) de maíz nativo tropical dosmesano, de acuerdo con la combinación distancia entre surcos x número de semillas/mata, y los testigos regionales. Cárdenas, Tabasco, México. 2016.	18
3. 5 Valores medios de variables evaluadas en el comportamiento agronómico del maíz nativo tropical dosmesano evaluado en 10 tratamientos. Cárdenas, Tabasco, México, 2016.	19
3. 6 Efecto simple del número de semillas por mata sobre porcentaje de prolificidad (PP) en maíz nativo tropical dosmesano. Cárdenas, Tabasco, 2016.	20
4. 1 Líneas parcialmente endogámicas S_1 de maíz dosmesano evaluadas <i>per se</i> en Tabasco, México.	28
4. 2 Análisis de varianza de ocho variables de 25 líneas endogámicas S_1 de maíz dosmesano. Cárdenas, Tabasco, 2017.	30
5. 1 Análisis de varianza de ocho variables de 14 líneas prolíficas S_1 de maíz nativo tropical dosmesano en dos ciclos de cultivo 2016-2017. Cárdenas, Tabasco, México.	40
5. 2 Análisis de varianza de ocho variables de 14 líneas prolíficas S_1 de maíz nativo tropical dosmesano en el ciclo de cultivo 2016. Cárdenas, Tabasco, México.	43
5. 3 Análisis de varianza de ocho variables de 14 líneas prolíficas S_1 de maíz nativo tropical dosmesano en el ciclo de cultivo 2017. Cárdenas, Tabasco, México.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura	PAG.
3. 1. Interacción distancia entre surcos x número de semillas/mata, sobre rendimiento de grano (RG; kg ha ⁻¹), en maíz nativo tropical dosmesano. Cárdenas, Tabasco, México. 2016. ...	16
4. 1. Rendimiento de grano en líneas S ₁ de maíz dosmesano en Cárdenas, Tabasco. 2017.	31
4. 2. Altura de mazorca en líneas de maíz dosmesano mostrando variación entre líneas.....	31
4. 3. Altura de planta en líneas S ₁ de maíz dosmesano.	32
5. 1. Porcentaje de prolificidad en dos estaciones de producción de líneas prolíficas S ₁ de maíz dosmesano	40
5. 2. Rendimiento de grano en dos estaciones de producción.....	41
5. 3. Porcentaje de prolificidad entre líneas de maíz nativo dosmesano, en dos estaciones de producción.	46

INTRODUCCIÓN GENERAL

En Tabasco y otros estados de la República Mexicana, las razas nativas de maíz (*Zea Mays* L.) han permanecido inmersas en un sistema de actividad agrícola (Carrera-García, 2012) llamada por los lugareños como la milpa, palabra de origen náhuatl que significa campo recién limpiado (Cruz, 2012); la milpa es un sistema de producción agrícola que data de tiempos prehispánicos y sigue vigente en nuestros días, como el principal sostén de la economía campesina (Kato, 2009), al cultivar el maíz asociado con otros cultivos (Vásquez, 2016) nativos como el frijol y la calabaza (Cruz, 2012), que son sembrados para complementar la alimentación familiar campesina (Sosa, 2014); sin embargo, los maíces nativos son el eje principal de tan importante reservorio genético *in situ*, por lo que se deben proteger (Fernández, 2013), conservar y aprovechar en programas de mejoramiento genético (Guillen, 2014). Además, la seguridad alimentaria y la preservación de los sistemas tradicionales de producción agrícola, como la milpa, son temas estratégicos de seguridad nacional en México. En la milpa se producen los alimentos de muchos mexicanos, y este es un sistema de producción agrícola sustentable que utiliza conocimientos tradicionales y semillas autóctonas con métodos de cultivo perfectibles

En el estado de Tabasco, México, existen variedades locales de maíz nativo, clasificadas por los productores por sus características morfológicas de mazorca, grano y olote (Cruz, 2012), así como por su precocidad y peculiar sabor y uso en la gastronomía tabasqueña. Una de estas variedades se localiza en la zona de la Chontalpa, en el municipio de Cárdenas, llamada maíz dosmesano, con características importantes como: precocidad, tamaño de mazorca, tipo de grano, fácil desgrane, que pueden integrarse en un programa de selección para detonar su potencial productivo a través del mejoramiento genético y convertir a la región en uno de los graneros de México.

1.1 Problemática

Los bajos rendimientos de maíz en Tabasco de 1.8 t ha^{-1} en promedio, están dentro de las causas que han provocado desinterés en sembrar este cultivo milenario y símbolo nacional, aun desde el establecimiento del Plan Chontalpa, en la década de los 1970's, en la que se introdujeron maíces mejorados con el fin de incrementar la producción, lo cual no funcionó, debido a que estas variedades no producen en Tabasco lo que deberían producir, ya que fueron generadas en condiciones ambientales diferentes a las que prevalen en el estado. Si bien es cierto que los maíces nativos de la zona son sembrados por los productores para el autoconsumo, existen dentro de estos maíces ejemplares con características de alta productividad, por lo que esta investigación se centra en la evaluación y el mejoramiento de estas variedades de maíz productivas y adaptadas a la zona, para obtener mayores rendimientos.

1.2 Justificación

En Tabasco existe preocupación sobre la producción insuficiente de maíz que los productores obtienen con sus variedades nativas, las cuales son cultivadas para su alimentación desde hace mucho tiempo (Jiménez, 2010) manteniéndolas de generación en generación a través de padres a hijos (Ayala, 2014). Ante esta situación, se tiene planeado realizar el mejoramiento del sistema de producción y de los genotipos de los maíces productivos y adaptados a las condiciones ambientales de la región, para obtener altos niveles de producción y satisfacer el abasto familiar y generar excedentes para su venta y poder ayudar a la economía familiar.

1.3 Objetivo

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta del maíz (*Zea mays* L.) nativo tropical dosmesano a diferentes arreglos topológicos, para conocer su potencial de adaptación a sistemas de alta productividad acorde a los ecosistemas del trópico húmedo, así como evaluar el potencial productivo de líneas autofecundadas derivadas de una población de maíz dosmesano.

1.4 Hipótesis

Se identificara un arreglo topológico diferente al tradicional que producirá el máximo rendimiento de grano del maíz dosmesano en Tabasco. Además, mediante el mejoramiento genético del maíz nativo dosmesano adaptado a las condiciones ambientales del trópico húmedo es posible obtener niveles altos de producción, y fomentar su uso específico entre los productores de la región.

REVISIÓN DE LITERATURA

El maíz tiene su centro de origen, de diversidad genética y de usos en México, donde continúa siendo el cultivo más importante (Gonzales, 2013), pues es patrimonio fitogenético con valor cultural y económico por su propósito estratégico alimentario (Navarro-Garza, 2012), con el cual se puede garantizar la seguridad alimentaria (Castillo, 2011) de millones de familias en el país, elaborando además de la tortilla que es la forma tradicional de consumirlo (Massieu, 2002), distintos usos especiales (Fernández, 2013).

2.1 Producción nacional

En el ciclo otoño-invierno de 2016, la producción nacional de maíz en México fue de 8 535 000 toneladas, destacando; Sinaloa, Sonora y Tamaulipas como las principales entidades productoras de maíz, aportando 80 % de la producción en ese ciclo (SIAP, 2016).

En Tabasco, en ese mismo año, la producción estatal fue de 63 772 toneladas, bajo un sistema tradicional que utiliza alrededor de 40 000 plantas por hectárea, y donde se obtienen rendimientos promedio de 1.8 t ha⁻¹(SIAP, 2016).

2.2 Maíces nativos

Miles de años de selección y resguardo por los productores, en diversas áreas geográficas aisladas, han dado como resultado poblaciones nativas diferentes de maíz (Herrera-Cabrera, 2013). Estos materiales son altamente valorados por sus cualidades, sobre todo cuando los maíces nativos

muestran un buen desempeño agronómico (Perales *et al.*, 2003) debido a la resistencia a factores limitantes y la adaptabilidad que presentan ante los cambios en el ambiente (Hellín, 2013). El productor selecciona en cada ciclo de cultivo su maíz nativo con base en su sabor, aroma, textura (Figueroa, 2013) así como el color, forma del grano, forma de la mazorca, ciclo de cultivo y usos (Jiménez-Tapia, 2010), por lo que en los últimos años el estudio, mejoramiento y cultivo de maíces nativos se ha incrementado con la finalidad de aumentar su valor (Gaytán-Martínez, 2013). Además las semillas nativas se pueden almacenar por largos periodos, no así los maíces híbridos (Flores, 2012).

La variabilidad de usos de los maíces nativos hace que algunas variedades logren un sobreprecio, si se tiene acceso a un mercado especializado (Hellín *et al.*, 2013), con ello se mejoran las condiciones de vida de los productores, mientras se fomenta la conservación de los recursos genéticos en el mismo sitio donde se producen (Palacios, 2013). Los maíces nativos constituyen pues un reservorio y patrimonio genético por explorar (Serna-Saldívar, 2013) y explotar sustentablemente que puede contribuir a mejorar la condición de vida de la sociedad.

En el territorio mexicano se han clasificado 59 razas de maíz (Sánchez *et al.*, 2000) coexistiendo en diferentes regiones geográficas del país, por lo que su conservación es importante (Fernández, 2013), no hacerlo causaría la pérdida de diversidad genética (Gaytán-Martínez, 2013).

En el sureste de México se han reportado 35 razas cultivadas, en cada ciclo agrícola (Guillen, 2014). Estas razas poseen atributos como tolerancia al estrés hídrico, resistencia a plagas y enfermedades, así como la capacidad de amortiguar la variación en las condiciones ambientales (Rincón-Sánchez, 2014).

En el estado de Tabasco, el maíz es un cultivo con mucha importancia, en el sistema milpa, debido a la diversidad que posee, coexistiendo con arvenses, árboles frutales y fauna endémica de la región, recursos que el campesino aprovecha para su uso (Morales-Valenzuela, 2017). Desde la perspectiva del Fitomejoramiento, la diversidad del maíz nativo precoz que existe en el estado de

Tabasco representan un amplio acervo de genes, en la que se pueden encontrar las características adecuadas que pueden servir para el mejoramiento genético y desarrollo de nuevas variedades precoces de alta productividad de grano (Sánchez-Hernández, 2015)

2.3 Literatura citada

- Ayala M. F. J. (2014)** Estimación de aptitud combinatoria general y específica en líneas avanzadas de maíz. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de agronomía. 76 p.
- Carrera-García S., H. Navarro-Garza, M. A. Pérez-Olvera, B. Mata-García (2012).** Calendario agrícola mazateco, milpa y estrategia alimentaria campesina en territorio de Huautepec, Oaxaca. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 9:455-475
- Castillo G, F. (2011)** Reseña de Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México de Ricardo E. Preciado Ortiz y Salvador Montes Hernández Editores. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 34 (Octubre-Diciembre): [consulta: 7 de febrero de 2019] <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61020797011>> ISSN 0187-7380
- Cruz V. H. M. (2012)** Diversidad de maíces criollos en cinco localidades del municipio de Tacotalpa, Tabasco. Universidad intercultural del estado de Tabasco. 80 p.
- Fernández S. R., L. A. M. Chávez y A. G. Mariscal (2013)** Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 275 – 283
- Figuroa C. J. D., D. E. N. Gonzales, A. M. Sánchez, S. Taba, M. G. Martínez, J. J. V. Medina, F. R. Sánchez y F. A. Cuevas (2013)** Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 305 – 314
- Flores B. E. M. T., U. H. Ramírez y Á. A. M. Vásquez (2012)** Caracterización morfoagronómica de cinco variedades de Maíz criollo (*Zea mays* L.) en la zona de San Luis Talpa bajo un Manejo orgánico. Universidad de el Salvador. 208 p.
- Gaytán-Martínez M., J. D. Figuroa-Cárdenas, M. L. Reyes-Vega, E. Morales-Sánchez y F. Rincón-Sánchez (2013)** Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 339 – 346
- González C. M. E., N. P. Rojas, A. E. Banda y C. A. B. Salazar (2013)** Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 329 – 338
- Guillén-de la Cruz P., E. Cruz-Lázaro, S. A. Rodríguez-Herrera, G. Castañón-Nájera, A. Gómez-Vázquez, A. J. Lozano-del Rio (2014)** Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L.) del estado de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 46: 239-247

- Hellín J., A Keleman, D. López, L. Donnet y D. Flores (2013)** La importancia de los nichos de mercado. Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 315 – 328.
- Herrera-Cabrera B. E., F. Castillo-González, R. A. O. Pazkca y A. Delgado-Alvarado (2013)** Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:33 – 43
- Jiménez T. S. (2010)** Caracterización agronómica y denominación de poblaciones locales de maíz (*Zea mays L.*) de la comunidad de Cualac, Guerrero. Colegio de postgraduados, Puebla, México. 139 p.
- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos, R. A. Bye (2009).** Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- Massieu T. Y., J. M. Lechuga (2002)** El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. Análisis Económico. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco 36: 281-303
- Morales -Valenzuela G. y J. Padilla-Vega (2017)** Variedades locales de maíz en comunidades CH'oles de Tacotalpa, Tabasco. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* 7: 49-56
- Navarro-Garza H., M. Hernández-Flores, F. Castillo-González, M. A. Pérez-Olvera (2012)** Diversidad y caracterización de maíces criollos. Estudio de Caso en sistemas de cultivo en la costa chica de Guerrero, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 9:149-165
- Palacios R. N. (2013)** Una perspectiva socioeconómica y tecnológica de los maíces criollos *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 271
- Perales R. H., S. B. Brush and C. O. Qualset (2003)** Landraces of maize in central Mexico: an altitudinal transect. *Economic Botany* 57: 7–20
- Rincón-Sánchez F., N. A. Ruíz-Torres, R. Cuellar-Flores y F. Zamora-Cancino (2014)** Jaguan variedad criolla mejorada de maíz para áreas de temporal del Sureste de Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 403 – 405
- Sanchez G. J.J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43-59
- Sánchez-Hernández E., E. de la Cruz-Lázaro y R. Sánchez-Hernández (2015)** Productividad y caracterización varietal de maíces nativos (*Zea mays L.*) colectados en Tabasco, México *Acta agrícola y pecuaria* 1: 7-15
- Serna-Saldívar O. S., J. A. Gutiérrez-Uribe, S. Mora-Rochin y S. García-Lara (2013)** Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 295 – 304

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016) Cierre de la producción agrícola nacional en México. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (diciembre 2016)

Sosa C. E. (2014) Agricultura chol en Tacotalpa, Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur. 130 p.

Vásquez G. A. Y., C. C. Mejía, F. H. Tapia, F. C. Meléndez (2016) La milpa mazahua: baluarte de conocimientos y creencias. Iberóforum. *Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana* 21: 142-167

CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE MAÍZ NATIVO TROPICAL DOSMESANO, BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA

1.1 Resumen

Para conocer el potencial productivo del maíz (*Zea mays* L.) nativo tropical dosmesano bajo diferentes densidades poblacionales, se diseñó un sistema factorial con surcos separados a 0.80 y 1.0 m, (S80 y S100, respectivamente), matas separadas 0.20 y 0.25 m (M20 y M25, respectivamente), 1 y 2 semillas/mata (1S y 2S, respectivamente). Se sembró un testigo regional (TR) de 1 m entre surcos x 1 m entre matas x 4 semillas/mata, y otro modificado (TRM), con 0.8 m entre surcos x 1.0 m entre matas x cuatro semillas/mata. Se usó un diseño de bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. Las densidades resultantes fueron: 40,000, 50,000, 62,500, 80,000, 100,000 y 125,000 plantas/ha, con diferente arreglo topológico. Se registró días a 50 % de antesis (50 % A) y 50 % de jiloteo (50 % J) después de la siembra, altura de mazorca (AM), altura de planta (AP), relación AP/AM, porcentaje de acame (PA), correlación entre (AP/AM)/PA, porcentaje de plantas jorras (PPJ), porcentaje de prolificidad (PP), y rendimiento de grano (RG kg ha⁻¹). Se detectó interacción doble significativa de distancia entre surcos x número de semillas/mata, para RG (P = 0.0005) y PPJ (P = 0.0039). El mayor RG, 3836 kg ha⁻¹, se observó en S100 x 2S, con 80,000 plantas/ha, y superó a TR que rindió 2198 kg ha⁻¹; el mayor PPJ, 73 %, se observó en S80 x 2S. Hubo interacción triple significativa para AP (P = 0.0031) y AM (P = 0.0392), ambas en S80 x M20 x 1S, con 2.67 m y 1.26, respectivamente. Hubo efecto simple significativo en número de semillas/mata para PP (P = 0.0221), con 17 % y 4 %, con 1S y 2S, respectivamente. No hubo efectos significativos para 50 % A, 50 % J, PA, en la correlación AP/AM (P = 0.3348) y (AP/AM)/PA. El RG observado indica alto potencial del cultivo bajo la densidad poblacional de 80, 000 plantas/ha.

Palabras clave:

Zea mays, maíz nativo tropical, densidad poblacional, rendimiento de grano, arreglo topológico.

1.2 Introducción

El comportamiento agronómico que presenta el maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de alta densidad poblacional, responde a la fertilidad del suelo, manejo del cultivo (Subedi *et al.*, 2006), disponibilidad de agua (Overman y Scholtz III, 2002), y una eficiente aplicación de fertilizantes (Shi de Yang *et al.*, 2016; Bera, 2018). Los maíces híbridos se han mejorado para mayor productividad, al cultivarse en densidades superiores a 62 mil plantas/ha (Guevara-Escobar *et al.*, 2005), presentando buen comportamiento y tolerancia al estrés, mejorando el rendimiento hasta un 2.5 % por año (Tollenaar y Wu, 1999), sin embargo, con frecuencia no se les da el manejo agronómico adecuado, obteniendo bajos rendimientos (Tadeo-Robledo, 2012; Vázquez-Carrillo, 2015).

Otahola y Rodríguez (2001) obtuvieron mayor producción de mazorcas con arreglo de siembra de 0.70 m entre surcos y 0.20 m entre plantas. Para rendimiento de grano se ha reportado que un espacio entre surcos de 0.75 m y una densidad de plantas de 90 000 semillas/ha son adecuados, tanto para la producción de forraje como de grano de maíz, con sistema de riego (Guevara-Escobar, 2005). Abuzar *et al.*, (2011) encontraron que la distancia entre plantas de 22 cm y entre surcos de 75 cm fue la adecuada para la producción de 2604 kg ha⁻¹ de grano. Liu *et al.*, (2004) encontró que el espaciamiento entre plantas dentro del surco no afecta el rendimiento.

En trabajos con materiales locales durante 24 ciclos de mejoramiento genético se incrementó la producción en 3.65 % por ciclo (Coyac *et al.*, 2013); en un estudio con 18 razas de maíz criollo en el estado de Oaxaca, mostró diferencias significativas para días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, así como en rendimiento de grano (Cabrera *et al.*, 2015). Testa *et al.* (2016) mencionan que la reducción entre surcos a 0.50 m aumenta significativamente el rendimiento hasta 11.7 % en promedio.

Ciertos genotipos de maíz producen hasta 19 t ha⁻¹ de grano, siempre que los materiales reciban la fertilización adecuada de 570 kg N ha⁻¹ (Al-Naggar *et al.*, 2015). En la raza Chalqueño, en el estado de Puebla, se reportan diferencias significativas para rendimiento de grano, entre localidades, de 3.5 a 6.7 t ha⁻¹ y entre variedades de 2.7 a 6.6 t ha⁻¹ (Arellano *et al.*, 2003).

La amplia distribución de maíces nativos que existe en la República Mexicana y que están bien adaptados a las condiciones ambientales los hace materiales con características valiosas (González *et al.*, 2013), como los materiales nativos precoces localizados en el municipio de Huimanguillo, en el estado de Tabasco, llamados localmente mejen y dosmesano (Jiménez-Juárez *et al.*, 2012).

Estas razas de maíz han persistido por muchos años, como bancos de germoplasma *in situ* (Herrera *et al.*, 2004), aunque con ellos se obtienen rendimientos en promedio de 1.8 t ha⁻¹, en un sistema que utiliza alrededor de 40 000 plantas/ha (SIAP, 2017); aunque existen genotipos que presentan características de alto rendimiento (Jiménez-Juárez *et al.*, 2012), los cuales están adaptados a las condiciones locales de la región como la humedad, temperatura y estrés por falta de luz, al cultivarse en sistemas agroforestales, donde se combinan con especies frutales y maderables.

La ausencia de maíces adaptados a la alta densidad es una problemática que afecta la producción, por lo que identificar individuos que muestren competitividad bajo alta densidad de población, puede ayudar a incrementar la productividad del maíz, al aumentar las densidades de siembra. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de una población de maíz dosmesano, bajo diferentes densidades de siembra, para conocer su potencial de mejoramiento genético y utilizarse en un sistema de alta productividad, bajo la hipótesis de que existe potencial en la población nativa que puede ser utilizada para elevar la productividad mediante el ajuste en el sistema de siembra para altas densidades.

1.3 Materiales y métodos

1.3.1 Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, ubicado en las coordenadas geográficas de 17° 99' LN y 93 ° 63' LW. El tipo de clima predominante es Am, con temperatura promedio de 26° C, precipitación media anual de 2277 mm (García, 2004), con altitud de 19 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2016), y suelo cambisol serie gamas (Palma-López et al., 2017).

1.3.2 Material vegetativo

El germoplasma utilizado en la presente investigación es llamado por los productores como dosmesano; porque en dos meses está produciendo elotes. La semilla es de color blanco con olote delgado la cual se colectó con un productor cooperante, en enero de 2016.

1.3.3 Testigo regional y testigo regional modificado

Testigo regional (TR) es la manera tradicional en la que el cultivo es sembrado en la región, la cual consiste en sembrar a una distancia de 1 m entre surcos por 1 m entre matas con 4 semillas/mata. A la modificación de la distancia entre surcos de TR se le llamó testigo regional modificado (TRM), el cual consistió en sembrar a una distancia de 0.8 m entre surcos x 1.0 m entre matas x cuatro semillas/mata.

1.3.4 Diseño de tratamientos

Los tratamientos se diseñaron mediante un sistema factorial 2^3 , que derivó en ocho combinaciones: distancia entre surcos (0.8 y 1.0 m), distancia entre matas (0.2 y 0.25 m) y número de semillas por mata (1 y 2). Adicionalmente, se incluyó a TR y TRM (Cuadro 3.1).

Cuadro 3. 1 Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento agronómico de maíz nativo tropical dosmesano, en alta densidad poblacional. Cárdenas, Tabasco, 2016.

Tratamiento	Distancia entre surcos (m)	Distancia entre matas (m)	Semillas por mata	Densidad de plantas ha ⁻¹
T ₁	1.0	0.25	1	40 000
T ₂	1.0	0.25	2	80 000
T ₃	1.0	0.20	1	50 000
T ₄	1.0	0.20	2	100 000
T ₅	0.8	0.25	1	50 000
T ₆	0.8	0.25	2	100 000
T ₇	0.8	0.20	1	62 500
T ₈	0.8	0.20	2	125 000
T ₉	1.0	1.0	4	40 000
T ₁₀	0.8	1.0	4	50 000

1.3.5 Establecimiento del experimento

La preparación del terreno consistió en dos pasos de rastra-arado, el segundo perpendicular al primero a una profundidad de 20 cm, la siembra se realizó manualmente el 22 de febrero del 2016, a una profundidad de 5 a 10 cm, aprovechando la humedad residual existente en el suelo. La parcela experimental fue de cuatro surcos con una longitud de 5 m. La parcela útil consistió de los dos surcos centrales, a los que se eliminó la planta de cada extremo; la distancia entre surcos se ajustó según el tratamiento, para obtener la densidad poblacional correspondiente.

1.3.6 Manejo agronómico

A los 15 días después de la siembra, se aplicaron 5 kg de la mezcla 1:1 de urea y triple 17 en la parte basal del surco, con aspersora de mochila, diluidos en 20 litros de agua. Durante el desarrollo vegetativo, se fertilizó tres veces vía foliar con Polyfeed ® a dosis comerciales, y con purín obtenido de la fermentación de estiércol de bovino, en proporción 2:20, purín: agua. A los 40 días después de la siembra (DDS) se aplicó Paraquat ® para controlar la maleza en dosis de 150 ml diluido en 20 litros de agua. El control del gusano cogollero se efectuó con Engeo ® a los 15 DDS, aplicando 20 ml del producto en 20 litros de agua, asperjando el follaje del cultivo. En las aplicaciones se utilizó aspersora de mochila.

1.3.7 Variables evaluadas

Las características evaluadas fueron: días a floración masculina, cuando el 50 % de la población estaba en antesis (50 % A), días a floración femenina, cuando el 50 % de los jilotes tenían los estigmas expuestos (50 % J), altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM), medidas en cm del ras del suelo hasta la punta de la espiga o hasta el nudo de inserción de la mazorca, respectivamente; porcentaje de acame (PA), porcentaje de plantas jorras (PJ), porcentaje de prolificidad (PP). Así mismo, se evaluaron la relación entre altura de planta y altura de mazorca (AP/AM), la relación de AP/AM con porcentaje de acame (AP/AM)/PA y con rendimiento de grano (RG). El RG se ajustó de acuerdo con el número de plantas productivas en la parcela útil, y se transformó a kg ha^{-1} , para lo cual se multiplico el peso de grano promedio obtenido, en cada tratamiento, por su respectivo número de plantas viables en una hectárea de cultivo.

1.3.8 Diseño experimental

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + ds + dm + ns + ds \times dm + ds \times ns + dm \times ns + dm \times ds \times ns + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = k -ésimo valor observado del i -ésimo tratamiento, en el j -ésimo bloque,

μ = media general,

ds = efecto simple de distancia entre surcos,

dm = efecto simple de distancia entre matas,

ns = efecto simple de número de semillas por mata,

$ds \times dm$ = efecto de la interacción distancia entre surcos x distancia entre matas,

$ds \times ns$ = efecto de la interacción distancia entre surcos x número de semillas por mata,

$dm \times ns$ = efecto de la interacción distancia entre matas x número de semillas por mata,

$dm \times ds \times ns$ = efecto de la interacción distancia entre matas x distancia entre surcos x número de semillas por mata,

β_j = efecto del j -ésimo bloque,

ϵ_{ijk} = error experimental en la k -ésima observación del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque,

1.3.9 Análisis estadístico

Se realizó un primer análisis con los ocho tratamientos del diseño factorial, sin testigos, para detectar la posible interacción entre los factores bajo estudio; en caso de ausencia, se procedió a la detección de efectos simples. Un segundo análisis incluyó la serie de tratamientos factoriales generados más el testigo regional y el regional modificado. Al detectarse diferencias significativas en ambos tipos de análisis, se procedió a la comparación de medias con el método de Tukey. En cada caso se usó PROC MIXED de SAS® 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

1.4 Resultados y Discusión

Los análisis estadísticos detectaron significancia en la interacción de distancia entre surcos x número de semillas para RG ($P = 0.003$) y PPJ ($P = 0.0039$). Además de estas dos variables, los cuadrados medios entre los tratamientos indican que hubo diferencias significativas ($P = 0.05$) para AM y AP (Cuadro 3.2). El mayor RG, de 3836 kg ha^{-1} , se observó en surcos de 1 m de separación x dos semillas por mata (Figura 3.1); este RG superó significativamente al resto de combinaciones, y sobrepasó en 75 % al del sistema regional TR, el cual rindió 2198 kg ha^{-1} (Cuadro 3.3).

No se encontraron efectos significativos de distancia entre matas para RG, lo cual ha sido reportado en otros estudios llevados a cabo con híbridos comerciales de maíz (Liu *et al.*, 2004; Guevara-Escobar *et al.*, 2005; Subedi *et al.*, 2006, Testa *et al.*, 2016). Tales híbridos han sido mejorados para tolerar altas densidades de población, mediante cambios en la arquitectura de la planta, y la reducción del ángulo de inserción foliar como principal componente, además de una eficiente tasa de asimilación de nutrientes y agua del suelo (Tollenaar y Wu, 1999).

Cuadro 3. 2 Cuadrados medios de ocho variables de maíz dosmesano evaluado en 10 tratamientos de alta y baja densidad poblacional. Cárdenas, Tabasco, 2016.

F. V.	g. l	RG kg ha ⁻¹	PPJ	AM	AP	50 % A	50 % J	PA	PP
Reps	2	2934292	75	4632	17160	26	26	2762	184
Trats	9	1599144 *	490 *	2910 *	6745 *	5	8	1102	224
Error	18	442545	120	472	899	4	7	681	143
C. V		25	21	20	12	3	4	57	81

F. V. = Fuentes de variación, g. l. = Grados de libertad, RG = Rendimiento de grano, AM = Altura de Mazorca, AP = Altura de Planta, PPJ = Porcentaje de plantas jorras, 50 % A = Días a Antes de la Siembra, 50 % J = Días a Jiloteo después de la Siembra, PA = Porcentaje de Acame, PP = Porcentaje de prolificidad. Reps. = Repeticiones, Trats. = Tratamientos, C. V = Coeficiente de variación, * = (P ≤ 0.05)

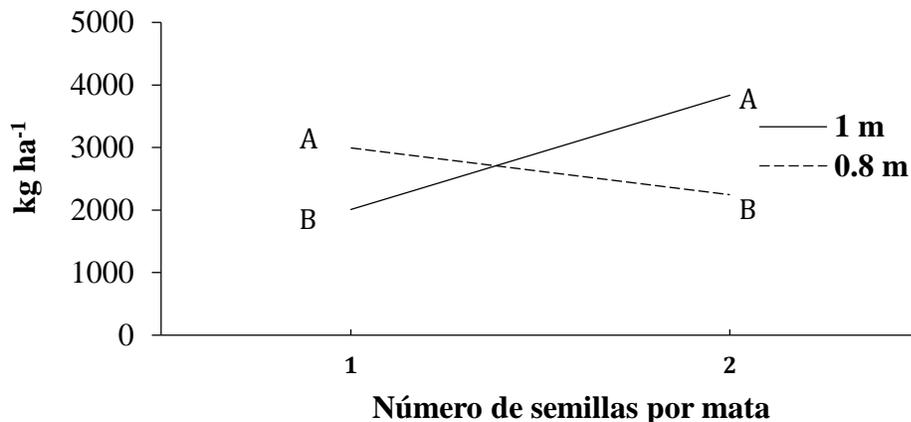


Figura 3. 1. Interacción distancia entre surcos x número de semillas/mata, sobre rendimiento de grano (RG; kg ha⁻¹), en maíz nativo tropical dosmesano. Cárdenas, Tabasco, México. 2016.

Con estos cultivares, los mayores rendimientos se logran al reducir la distancia entre surcos (Tollenaar y Wu, 1999; Testa et al., 2016), que en consecuencia aumenta la densidad poblacional.

En el presente estudio, el mayor RG se asoció a un incremento considerable en la densidad de siembra, pues con el arreglo topológico derivado se pasó de 40 mil a 80 mil plantas/ha; no obstante, y aún con dos semillas por mata, la mayor distancia entre surcos permitió al cultivo disponer de espacio suficiente para mayor crecimiento y desarrollo, requerido para un mayor ángulo foliar, comparado éste con la arquitectura de la planta de híbridos modernos de maíz.

Cuadro 3. 3. Comportamiento medio de Rendimiento de grano (RG) de maíz nativo tropical dosmesano, con base en la doble interacción distancia entre surcos x número de semillas/mata, y los testigos regionales. Cárdenas, Tabasco, México. 2016.

Combinación	Plantas/ha†	RG (kg ha ⁻¹)	Error estándar
1 m x 1 s	45000	2010.15 b	249
1 m x 2 s	90000	3836.12 a	249
0.8 m x 1 s	56000	2995.52 a b	249
0.8 m x 2 s	112500	2246.93 b	249
1 m x 1m x 4 s	40000	2198.00 b	353
0.80 x 1m x 4 s	50000	2088.00 b	353

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). s: Semillas/mata, †: Promedio de plantas estimado con base en las combinaciones del diseño factorial, cuya doble interacción distancia entre surcos x número de semillas/mata resultó significativa. RG = Rendimiento de grano.

Adicionalmente, la maduración progresiva de las hojas pudo favorecer la captación y uso óptimo de la radiación solar, con efectos positivos sobre la formación de las estructuras reproductivas, cuyo inicio ocurre entre la etapa V₅ y V₆ (Abendroth *et al.*, 2011).

Se ha reportado que el espaciamiento entre plantas dentro de la hilera no afecta el rendimiento (Liu *et al.*, 2004; Guevara-Escobar *et al.*, 2005; Abuzar *et al.*, 2011), lo cual coincide con lo encontrado en este estudio. Además, la identificación de valores individuales que alcanzaron 180 g de grano seco por planta, sugiere la posibilidad de hacer selección para mayor rendimiento de grano en estas densidades poblacionales, e incrementar la productividad del material bajo estudio.

El mayor valor en PPJ, 73%, se observó en surcos separados por 0.8 m y dos semillas por mata (Cuadro 3.3.4). Se ha documentado que las altas densidades poblacionales inducen esterilidad (Subedi *et al.*, 2006; Abuzar *et al.*, 2011; Cervantes, 2014) debido a la competencia intra-plantas por agua, luz y nutrientes (Ajamnourozi y Bohrani, 1998), sin embargo, es común que en cultivares modernos eficientes este incremento poblacional impacte notablemente en el

rendimiento, ya que de una densidad de 49 300 a 59 500 plantas/ha incrementó el RG de 11 a 15 t ha⁻¹ (Kresovic *et al.*, 1997).

Cuadro 3. 4 Medias de porcentaje de plantas jorras (PPJ) de maíz nativo tropical dosmesano, en la combinación distancia entre surcos x número de semillas/mata y los testigos regionales. Cárdenas, Tabasco, México. 2016.

Combinación	Plantas/ha†	PPJ	Error estándar
1 m x 1 s	45000	49 b	4.1
1 m x 2 s	90000	51 b	4.1
0.8 m x 1 s	56000	40 b	4.1
0.8 m x 2 s	112500	73 a	4.1
1 m x 1m x 4 s	40000	36 b	6.0
0.80 x 1m x 4 s	50000	49 b	6.0

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). s: semillas/mata, †: Promedio de plantas estimado con base en las combinaciones del diseño factorial, cuya doble interacción distancia entre surcos x número de semillas/mata resultado significativa. PPJ = Porcentaje de plantas jorras

Hubo interacción triple significativa en la distancia entre surcos x distancia entre matas x número de semillas para AP (P = 0.0031) y AM (P = 0.0392). La combinación de surcos a 0.80 m, matas a 0.20 m, y una semilla por mata produjo AM con valores mínimos y máximos de 101 y 126 cm, respectivamente, mientras que AP varió de 224 a 267 cm. Éstos valores son similares a los encontrados en materiales criollos, con 231 cm de AP, cultivados a 83,000 plantas por ha (Sánchez-Hernández *et al.*, 2011), y superan a los observados con híbridos de maíz, cuya AP ha sido de hasta 215 cm (Palafox-Caballero *et al.*, 2006).

El acame se correlaciona usualmente con AP, AM y la relación AP/AM (Caí *et al.*, 2012); sin embargo, en el presente estudio no se detectaron correlaciones significativas en estas variables.

La AP observada favorece el potencial de uso forrajero del material evaluado en la producción ganadera regional (Sánchez-Hernández *et al.*, 2011), mientras que la AM registrada

favorece la cosecha manual del maíz dosmesano, sobre todo cuando se cultiva en zonas bajas del área donde se llevó a cabo el estudio, que presentan riesgos de inundación (Cuadro 3.5).

Cuadro 3. 5. Comportamiento agronómico medio de variables evaluadas en maíz nativo tropical dosmesano en 10 tratamientos. Cárdenas, Tabasco, México, 2016.

Tratamientos	AM (cm)	AP (cm)	50 % A	50 % J	PA	PP
T1	110 abc	257 ab	59	60	26	12
T2	124 a	259 ab	60	63	60	8
T3	103 bc	223 d	62	63	58	23
T4	119 a b	248 abc	63	63	60	4
T5	101 b c	232 cd	62	63	19	26
T6	104 b c	232 cd	62	65	30	3
T7	125 a	267 a	60	60	42	7
T8	109 a b c	243 abcd	63	65	23	1
T9	105 b c	241 bcd	62	65	83	0
T10	98 b c	225 cd	60	63	37	3
I	27	44	4	5	57	26
DHS (Tukey, 0.05 %)	18	25	6	6	84	56

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05). NS= No significativo, AM= Altura de Mazorca, AP= Altura de Planta, 50 % A= Días a Antesis Después de la Siembra, 50 % J= Días a Jiloteo Después de la Siembra, PA= Porcentaje de Acame, PP= porcentaje de prolificidad, I= Intervalo, DHS = Diferencia honesta significativa.

Se detectaron efectos simples significativos entre el número de semillas por mata para PP ($P = 0.0273$), con valores medios de 17 % y 4 %, con una y dos semillas, respectivamente (Cuadro 3.6); ésta es una característica de selección para incrementar la productividad en diferentes densidades (De León et al., 2005; Rodríguez et al., 2015) que persiste en el maíz y que se conserva como rasgo derivado del teocintle (Wills et al., 2013).

Cuadro 3. 6. Efecto simple del número de semillas por mata sobre porcentaje de prolificidad (PP) en maíz nativo tropical dosmesano. Cárdenas, Tabasco, 2016.

No. de semillas/ mata	PP	Error estándar
1 s	17 a	4
2 s	4 b	4

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05), PP= porcentaje de prolificidad.

No se detectaron efectos significativos de los factores evaluados para días a 50 % de antesis ($P = 0.6350$), ni para días a 50 % de jiloteo ($P = 0.2646$). La floración masculina ocurrió entre 59 a 62 días después de la siembra; sin embargo, algunos individuos entre la población presentaban 50 % de anteras liberando polen a los 45 días después de la siembra. El jiloteo se presentó entre 60 y 65 días después de la siembra; no obstante, hubo individuos que florecieron a los 47 días después de la siembra, por lo que a los 60 días estaban en llenado de grano, este carácter de precocidad define el nombre de dosmesano (dos meses) del material bajo estudio.

Los valores observados de floración del maíz dosmesano en el presente estudio difieren con lo reportado por otros autores para días a floración femenina (DFF) y masculina (DFM) en maíces criollos, pues se han encontrado intervalos de 72 a 84 y de 80 a 85 días, para jiloteo y antesis, respectivamente (Mejía y Molina, 2002; Sánchez-Hernández et al., 2011; Ramírez, 2013). En contraste, Sánchez-Hernández et al. (2011) encontraron diferencias significativas ($P = 0.01$) entre híbridos, con 65 DFM y 69 DFF, después de la siembra. Con base en los días a floración masculina y femenina observados en el maíz dosmesano, existe en éste una tendencia hacia un comportamiento precoz.

1.5 Conclusiones

El rendimiento de grano obtenido con una densidad de 80 mil plantas/ha, la cual es superior a la del sistema regional de cultivo, sugiere que la productividad del maíz nativo tropical dosmesano podría ser aumentada y mejorada al incrementar la densidad poblacional, mediante un ajuste en el arreglo topológico del sistema de siembra.

1.6 Literatura citada

- Abendroth L. J., R.W. Elmore, M. J. Boyer and S. K. Marley (2011)** Corn growth and development. PMR 1009 Iowa State University Extension, Ames, Iowa, 49 pp.
- Abuzar M. R., G. U. Sadozai, M. S. Baloch, A. A. Baloch, I. H. Shah, T. Javaid, N. Husáin (2011)** Effect of plant population densities on yield of maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21: 692-695
- Al-Naggar M. A. M, R. A. Shabana, M. M.M. Atta, T. H. Al-Khalil (2015)**. Maize response to elevated plant density combined with lowered N-fertilizer rate is genotype-dependent. *The Crop Journal* 3: 96 – 109 doi.org/10.1016/j.cj.2015.01.002
- Ajammouroozi H., J. Bohrani (1998)** The effects of planting configuration and plant density on the yield and yield components of the late maturing grain corn cultivar of S.C 704 and the intermediate maturing corn cultivar of S. C 704 in the region of Aliabad Kamin in the province of Fars. *In: Proceeding 5th Congress of Iranian Agronomy and Plant breeding*, Karaj, Iran. p. 380.
- Arellano V., J. L., Tut C. Casiano., Ramírez A. M., Salinas M. Y., Taboada O. R. G. (2003)**. Maíz azul de los valles altos de México. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26: 101 – 107.
- Bera T., E. S. McLamore, B. Wasik, B. Rathinasabapathi and G. Liu (2018)**. Identification of a maize (*Zea mays L.*) inbred line adapted to low-P conditions via analyses of phosphorus utilization, root acidification, and calcium influx. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.181: 275–286 doi: 10.1002/jpln.201700319
- Cabrera T. J. M., Carballo C. A., Aragón C. F (2015)** Evaluación agronómica de maíces raza Zapalote Chico en la región Istmeña de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11: 2075 – 2082

- Cai H., Q. Chu, R. Gu, L. Yuan, J. Liu, X. Zhang, F. Chen, G. Mi and F. Zhang (2012).** Identification of QTLs for plant height, ear height and grain yield in maize (*Zea mays* L.) in response to nitrogen and phosphorus supply. *Plant Breeding* 131:502—510 doi:10.1111/j.1439-0523.2012.01963.x
- Cervantes O. F., M. T. G. Ortíz, E. A. Enríquez, M. M. Elos, L. P. G. Acevedo, F. V. Moreno y S. R. Herrera (2014)** Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria. México* 2: 9-16
- Coyac R. J. L., J. D. M. Galán, J. J. G. Zavala, L. M. S. Covarrubias (2013).** La selección masal permite aumentar el rendimiento sin agotar la variabilidad genética aditiva en el maíz Zacatecas 58. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 53 – 62.
- De León N, J. G. Coors, S. M. Kaepler and G. J. M. Rosa (2005)** Genetic Control of Prolificacy and Related Traits in the Golden Glow Maize Population: I. Phenotypic Evaluation. *Crop Science* 45:1361–1369. doi:10.2135/cropsci2003.0486
- García E. (2004)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana Quinta Edición. Editorial Indianápolis D. F. México. 90 p
- González C. M. E., N. P. Rojas, A. E. Banda, C. A. B. Salazar (2013)** Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36. 329 – 338.
- Guevara-Escobar A., G. Barcenas-Huante, F. R. Salazar-Martínez, E. González-Sosa, H. Suzán-Azpiri (2005)** Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia*. 39: 431- 439.
- Herrera B. E. C., F. C. González, J. J. S. González, J. M. H. Casillas, R. A. O. Pazkca, y M. M. Goodman (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia*. 38:191-206.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016)** Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2016 www.inegi.org.mx (noviembre 2018)
- Jiménez-Juárez J. A., G. Arámbula-Villa, E. Cruz-Lázaro, M. A. Aparicio-Trápala (2012)** Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia*.28:145-152
- Liu W., M. Tollenaar, G. Stewart and W. Deen (2004)** Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agronomy Journal* 96:275–280
- Mejía C. J. A., J. D. M. Galán (2002)** Respuesta a la selección en variedades tropicales de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:305-310.

- Otahola-Gómez V., R. Zulay (2001)** Comportamiento agronómico de maíz (*Zea mays* L.) tipo dulce bajo diferentes densidades de siembra en condiciones de sabana. *UDO Agrícola* 1:18-24.
- Overman A. R. and R. V. Scholtz III (2002)** Corn response to irrigation and applied nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 3609-3619 doi: 10.1081/css-120015910
- Palafox-Caballero A., O. H. Tosquy-Valle, M. Sierra-Macías, A. Zambada-Martínez, H. Córdova-Orellana (2006)** Híbridos trilineales de maíz comunes y de alta calidad de proteína para Veracruz, México. *Agronomía mesoamericana* 17: 201-206
- Palma-López D. J., R. J. Ramírez, J. Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, F. Gavi-Reyes y D. Y. Palma-Cancino (2017)** Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad* 10: 29-35.
- Ramírez C. A., (2013)** Selección de maíces criollos de ciclo corto como estrategia frente al cambio climático en Michoacán. *Revista de Investigación y Difusión Científica Agropecuaria* 177-21.
- Rodríguez I. F., A. G. Huerta, D. de J. P. López y M. R. Arriaga (2015)** Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrado en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1943-1955
- Sánchez-Hernández M. Á., C. U. Aguilar-Martínez, N. Valenzuela-Jiménez, C. Sánchez-Hernández, M. C. Jiménez-Rojas, C. Villanueva-Verduzco (2011)** Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía mesoamericana* 22:281-295.
- Kresovic B., M. Tolimir and Z. Pajic (1997)** Growing of sweet corn as a second or stubble crop. *Journal of Science of Agricultural* 48: 23-30.
- SAS, Institute Inc. (2011)** Base SAS 9.3 Procedures Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017)**. Cierre de la producción agrícola nacional en México. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (diciembre 2017).
- Subedi K.D., B. L. Ma and D. L. Smith (2006)** Response of a leafy and non-leafy maize hybrid to population densities and fertilizer nitrogen levels. *Crop Science* 46:1860- 1869.
- SHI De-yang, L. Yan-hong, Z. Ji-wang, L. Peng, Z. Bin and D. Shu-ting (2016)** Increased plant density and reduced N rate lead to more grain yield and higher resource utilization in summer maize. *Journal of Integrative Agriculture*, 15: 2515–2528

- Tadeo-Robledo M, A. Espinosa-Calderón, N. Chimal, I. Arteaga-Escamilla, V. Trejo-Pastor, E. Canales-Islas, M. Sierra-Macías, R. Valdivia-Bernal, N. O. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero, B. Zamudio-González (2018)** Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Terra Latinoamericana* 30: 157-164
id=57324446007
- Testa G., A. Reyneri, M. Blandino (2016)** Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. *European Journal of Agronomy*, 72: 28-37
- Tollenaar M. and J. Wu (1999)** Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. *Crop Science* 39:1597–1604
- Vázquez-Carrillo M. G, J. L. Arellano-Vázquez, D. Santiago-Ramos (2015)** Rendimiento y calidad de grano y tortilla de maíces híbridos de valles altos de México crecidos en riego y temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:75-83
- Wills D. M., C. J. Whipple, S. Takuno, L. E. Kursel and L. M. Shannon (2013)** From many, one: genetic control of prolificacy during maize domestication. *PLOS Genetics* 9:1-13
doi:10.1371/journal.pgen.1003604

CAPÍTULO II. EVALUACIÓN TEMPRANA DE LÍNEAS ENDOGÁMICAS S₁ DE MAÍZ DOSMESANO

2.1 Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) dosmesano es un maíz nativo del estado de Tabasco, México, que es precoz y productivo en el sistema de producción conocido como milpa. Este maíz puede ser mejorado genéticamente para incrementar su rendimiento y obtener mejores características. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de 25 líneas S₁ de maíz dosmesano, derivadas de una población bajo selección. El experimento se estableció en el Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. La siembra se realizó manualmente el 13 de febrero del 2017 con espeque a una distancia de 0.80 m entre surcos y 0.20 m entre plantas, en dos surcos por línea, una semilla por mata, dando una densidad de población mayor que en la milpa tradicional. Las líneas se distribuyeron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables que se evaluaron fueron: rendimiento de grano (RG), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de mazorca (AM) y planta (AP), porcentaje de acame (PA), plantas jorras (PJ) y prolificidad (PP). Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias. Se presentaron diferencias significativas entre líneas para RG ($P = 0.0001$), con valores medios de 7784, 7519 y 7080 kg ha⁻¹ obtenidos en las líneas 2391, 2392 y 232, respectivamente. Estos valores de la evaluación temprana de las líneas *per se* indican que es posible derivar líneas endogámicas en el maíz nativo tropical dosmesano, con características de alta productividad, como la prolificidad, la precocidad, el número de hileras por mazorca, tamaño de mazorca, altura de planta, por mencionar algunas.

Palabras clave

Zea mays, líneas endogámicas, maíz nativo dosmesano, alta densidad, prueba temprana *per se*.

2.2 Introducción

La evaluación de líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.) en etapas tempranas es deseable para identificar aquellos linajes con mayor potencial productivo, de acuerdo con los objetivos del mejoramiento genético al que estén sujetas. Identificar líneas endogámicas con características deseables en relación con el número de granos puede ayudar en el desarrollo de híbridos que funcionen en condiciones de estrés (Echarte, 2006), sin que se afecte su crecimiento (Leach *et al.*, 2011), respondiendo a la eficiencia de los recursos como agua y nitrógeno, sin perder su potencial de rendimiento (O'Neill, 2004).

Muchas de las líneas de maíz que se desarrollan en diferentes programas de mejoramiento, los investigadores las han preferido por su contenido de aceite y proteína, por lo que se han implementado programas de seguimiento, haciendo diferentes pruebas de vigor y calidad endogámica, encontrando diferencias significativas ($P = 0.01$) en cuanto a la interacción del genotipo (Munamava, 2004), así como en el rendimiento a diferentes densidades (Amelong, 2017).

En trabajos previos de evaluación de líneas, De la Cruz (2010) encontraron diferencias significativas entre siete poblaciones de maíz y la variedad comercial VS536 ($P = 0.01$) para rendimiento, y observaron que las mejores cruzas ocurrieron entre líneas de distintas poblaciones, con 4955 kg ha^{-1} de rendimiento de grano promedio, indicando que los progenitores sobresalientes son adecuados para formar híbridos con alto potencial de rendimiento o derivar líneas que al cruzarse tengan buena combinación entre ellas. Para altura de mazorca encontraron diferencias significativas de ($P = 0.05$) con valores medios de 0.75 a 1.03 m entre las cruzas y 0.76 a 1.02 m entre los progenitores. Los valores medios registrados sugieren un porte de planta y posición de mazorca intermedio, lo cual le confiere tolerancia al acame. Los días a floración después de la siembra osciló de 60 a 63 días en las cruzas y 62 días en los progenitores, indicando esto que son de ciclo intermedio.

En otro trabajo relativo a la densidad de población, se menciona que al incrementar la población se retrasaron ligeramente los días a floración femenina ($P = 0.01$), esto debido a la competencia entre plantas. La altura de mazorca fue mayor en densidades de 60 a 75 mil plantas ha^{-1} , mientras que el rendimiento de grano no se vio afectado en densidades de 75 a 90 mil plantas/ha, y la prolificidad mostró diferencias significativas ($P = 0.01$) disminuyendo al incrementar la densidad de 1.25 mazorcas por planta, con 60 000 plantas ha^{-1} , a 1.04 con 90 mil

plantas ha⁻¹, lo cual es atribuible a que en niveles altos de población se incrementa el número de plantas jorras (Cervantes, 2013).

El maíz nativo tropical dosmesano en el estado de Tabasco ha respondido con alta productividad en evaluaciones a diferente densidad poblacional, aun en condiciones ambientales adversas como sequía, viento y lluvias (González *et al.*, 2013), esto usando una población original, sin mejoramiento formal, por lo que para mejorar su rendimiento de grano y otras características en la región e incrementar su productividad, el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico productivo de 25 líneas endogámicas S₁ de maíz dosmesano para seleccionar fenotipos con características de alta productividad bajo la hipótesis de que existen líneas endogámicas de maíz dosmesano con buen comportamiento productivo en etapas tempranas de autofecundación.

2.3 Materiales y Métodos

La evaluación de las líneas S₁ se realizó en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en las coordenadas geográficas de 17° 99' LN y 93 ° 63' LW. El tipo de clima predominante es Am, con temperatura promedio de 26° C, precipitación media anual de 2277 mm (García, 2004), con tipo de suelo cambisol serie gamas (Palma-López *et al.*, 2017).

Se evaluaron 25 líneas S₁ de maíz dosmesano derivadas de una población nativa bajo recombinación. Las líneas se formaron y se cosecharon en el ciclo de verano 2016. Posteriormente en el ciclo de 2017, las líneas fueron sembradas a una distancia de 0.80 m entre surcos y 0.20 m entre plantas, dos surcos por línea, una semilla por mata (Cuadro 1)

Cuadro 4. 1 Líneas parcialmente endogámicas S₁ de maíz dosmesano evaluadas per se en Tabasco, México.

LINEAS S ₁												
2491	2494	247	244	2391	2392	233	229	2273	2274	2275	221	197
189	175	174	173	160	142	137	2416	2412	217	177	232	

Los materiales en estudio se distribuyeron en campo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, bajo el modelo estadístico; $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$.

Donde:

Y_{ij} = valor fenotípico observado

μ = media general

T_i = efecto del tratamiento

β_j = efecto del bloque

ϵ_{ij} = error experimental

La siembra de las líneas se realizó el 13 de febrero del 2017, correspondiente a la temporada de secas, en forma manual con espeque a una profundidad de 5 a 10 cm, aprovechando la humedad residual en el suelo. La parcela experimental fue de dos surcos, con una longitud de 5 m. La parcela útil fueron dos surcos a los que se eliminó la primer y última planta.

2.3.1 Manejo agronómico, variables evaluadas y análisis de datos

A las plantas de cada parcela experimental se aplicaron dosis de fertilización foliar comercial y orgánico (purín) después de la emergencia del cultivo. A los 15 días de la siembra se aplicó una mezcla de urea y triple 17, en dosis de 5 kg ha⁻¹, diluido en 20 litros de agua, aplicado con aspersora de mochila, en la parte basal de las plantas. El control de maleza y gusano cogollero se efectuó con el herbicida Paraquat® y el plaguicida comercial Engeo®. La evaluación se llevó a cabo bajo condiciones de humedad residual, y se tomaron datos de las variables siguientes: días a floración masculina (DFM), cuando 50 % de la población estaba en anthesis, y días a floración femenina (DFF), cuando 50 % de los jilotes tenían los estigmas expuestos; se midió el porcentaje de acame, de plantas jorras y de prolificidad. En cinco plantas centrales de cada surco con competencia completa, se tomaron datos de altura de mazorca (AM) y planta (AP), medidos en cm. El rendimiento de grano se ajustó de acuerdo con el número de plantas productivas por parcela y se transformó a kg ha⁻¹. El análisis de los datos se analizó con los procedimientos GLM, UNIVARIATE y la prueba de comparación de medias de Tukey, con el programa estadístico SAS® 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

2.4 Resultados y Discusión

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 4.2) entre líneas hubo diferencias significativas para RG ($P = 0.0001$) (Figura 4.1).

Los valores promedio de rendimiento fueron de 7784, 7519 y 7080 kg ha⁻¹ destacando las líneas 2391, 2392 y 232, respectivamente. Cabe mencionar que dentro de los tratamientos fue posible identificar valores individuales de 200 g por planta, lo cual sugiere la posibilidad de continuar seleccionando todos aquellos fenotipos con características para mayor rendimiento de grano y con ello incrementar la producción; estos rendimientos son similares a los obtenidos con híbridos comerciales, como se ha mencionado en otros trabajos donde se evaluó el comportamiento entre cruces de líneas de diferentes poblaciones con rendimiento de 4955 kg ha⁻¹ (De la Cruz, 2010).

Cuadro 4. 2. Análisis de varianza de ocho variables de 25 líneas endogámicas S₁ de maíz dosmesano. Cárdenas, Tabasco, 2017.

F. V.	g. l	RG kg ha⁻¹	AM	AP	PPJ	50 % A	50 % J	PA	PP
Bloq	3	12584699.6 *	12692.4 *	7242.2 *	11.0	4.3	1.5	634.0	26.5
Trats	24	2332312.7 *	4025.0 *	4164.7 *	52.1	5.8	0.8	1507.0 *	15.2
Error		72	872	872	44	72	72	72	21
C. V		16.8	15.8	10.5	62.0	2.9	1.6	38.5	49.3

F. V. = Fuentes de variación, g. l. = Grados de libertad, RG = Rendimiento de grano, AM = Altura de Mazorca, AP = Altura de Planta, PPJ = Porcentaje de plantas jorras, 50 % A = Días a Antesis después de la Siembra, 50 % J = Días a Jiloteo después de la Siembra, PA = Porcentaje de Acame, PP = Porcentaje de prolificidad. Bloq = Bloques, Trats. = Tratamientos, C. V = Coeficiente de variación, * = ($P \leq 0.05$).

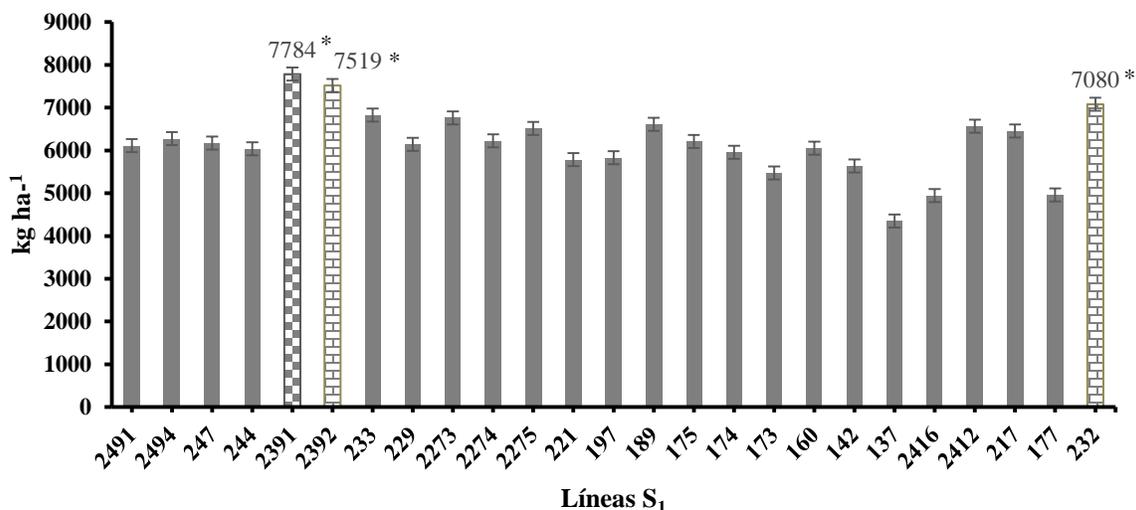


Figura 4. 1. Rendimiento de grano de líneas S₁ de maíz dosmesano evaluadas en Cárdenas, Tabasco, 2017.

Con base en su potencial productivo alto las tres líneas sobresalientes, 2391, 2392 y 232 son candidatas a llevarlas a generaciones de autofecundación más avanzadas y, en su momento, ser evaluadas como progenitoras de híbridos, con potencial de rendimiento superando a lo que se reporta para la región, que es de 1.8 t ha⁻¹ (SIAP, 2016). Al respecto, se ha documentado que la densidad óptima fluctúa de 75 000 a 90 000 plantas/ha (Cervantes, 2013), sin embargo, con la densidad que aquí se manejó de 62 500 plantas/ha, se obtuvo buen rendimiento.

También hubo diferencias significativas entre las líneas para altura de mazorca (P = 0.001), con valores medios de 112 a 152 cm en las líneas 232 y 142, respectivamente (Figura 4.2).

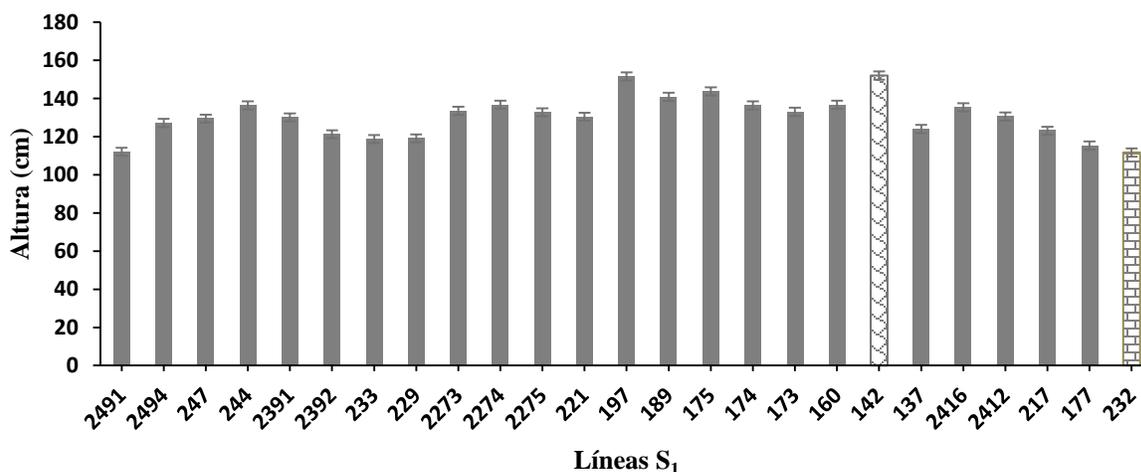


Figura 4. 2. Altura de mazorca en líneas de maíz dosmesano mostrando variación entre líneas

Los resultados en este trabajo difieren a los reportados con otras líneas estadísticamente diferentes ($P = 0.05$) y valores medios de 0.75 a 1.03 m en las cruzas y 0.76 a 1.02 m en los progenitores (De la cruz, 2010). Sin embargo, en densidades que van de 60 a 75 mil plantas ha^{-1} la altura de mazorca es mayor (Cervantes, 2013). Para altura de planta se encontraron diferencias significativas ($P = 0.001$) entre líneas por lo que la comparación de medias mostró valores de 230 a 277 cm, correspondiendo a las líneas 175 y 232, respectivamente (Figura 4.3). Este porte de planta, aun en líneas, es agronómicamente aceptable, y le confiere al maíz dosmesano un posible uso forrajero, al presentar más material vegetativo.

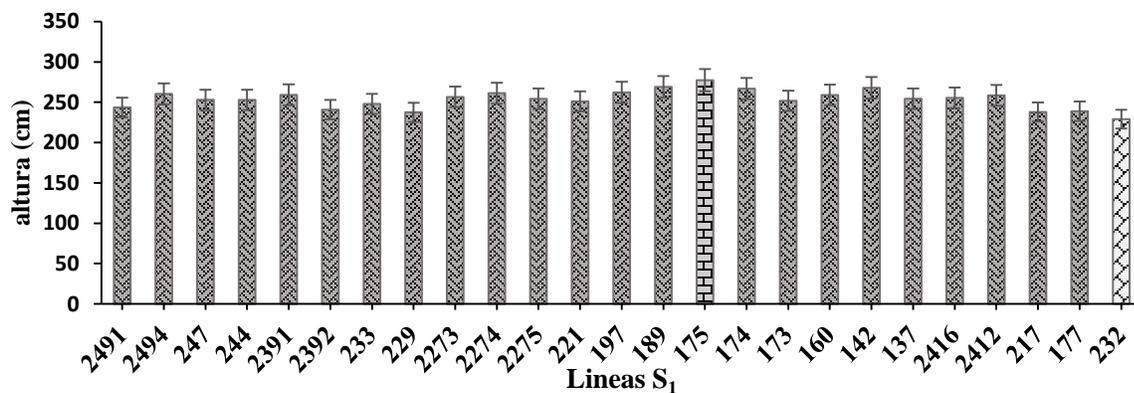


Figura 4. 3. Altura de planta entre líneas S₁ de maíz dosmesano evaluadas en Cárdenas, Tabasco.

Por otro lado, no existieron diferencias significativas ($P = 0.1218$) entre las líneas para días a 50 % de anthesis los materiales florecieron a los 65 días después de la siembra, aunque algunos individuos entre la población presentaron 50 % de anteras con granos de polen expuestos después de 60 días. Al respecto, De la Cruz (2010) menciona que la floración en materiales de ciclo intermedio oscila de 60 a 63 días.

Para días a 50 % de jiloteo no se presentaron diferencias significativas ($P = 0.7907$). Los estigmas estuvieron expuestos a los 68 días después de la siembra, pero cabe mencionar que se observaron fenotipos que a los 65 días presentaban jilotes en llenado de grano, lo cual concuerda con lo señalado por Cervantes (2013), en el sentido de que al incrementarse la densidad de población se retrasa ligeramente la floración femenina debido a la competencia entre plantas.

El PA resultó diferente entre las líneas ($P = 0.0092$), pues la línea 177 presentó el valor mínimo de 31 % mientras que la línea 2273 presentó el mayor porcentaje, de 99.5 %.

El PPJ tuvo diferencias significativas ($P = 0.0330$), por lo que la línea 233 mostró el valor mínimo de 3 % y la línea 2416 el máximo de 18 % de plantas no fecundadas.

La variable prolificidad mostró diferencias significativas ($P = 0.0327$), con valores medios de 2 y 11 %, siendo la línea 2274 la que mayor porcentaje de plantas prolíficas mostró, observándose que en esta evaluación la prolificidad disminuyó al incrementar la densidad de plantas, habiendo mayor proporción de plantas estériles (Cervantes, 2013).

2.5 Conclusiones

Se identificaron líneas endogámicas S_1 en el maíz nativo tropical dosmesano con características de alta productividad, cuyos rendimientos de grano se asemejan a los reportados con híbridos comerciales, con buen comportamiento en densidad poblacional mayor al usado en la milpa local, por lo que las líneas sobresalientes 2391, 2392 y 232, son candidatas para ser llevadas a generaciones avanzadas de mejoramiento.

La altura de planta que presentaron algunos de los materiales sugiere que tienen un alto potencial para desarrollar programas de uso forrajero en la región.

2.6 Literatura citada

Amelong A., F. Hernández, A. D. Novoa and L. Borrás (2017) Maize Stand Density Yield Response of Parental Inbred Lines and Derived Hybrids. *Crop Science* 57:32–39 doi: 10.2135/cropsci2016.02.0083

Cervantes-Ortíz F., J. Covarrubias-Prieto, J. A. Rangel-Lucio, A. D. Terrón-Ibarra, M. Mendoza-Elos, R. E. Preciado-Ortiz (2013) Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 24:101-110 ISSN: 1021-7444

De la Cruz-Lázaro E., G. Castañon-Najera, N. P. Brito-Manzano, A. Gómez-Vázquez, V. Robledo-Torres, A. J. L. del Rio (2010) Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 79: 11-17

Echarte L. and M. Tollenaar (2006) Kernel Set in Maize Hybrids and Their Inbred Lines Exposed to Stress. *Crop Science* 46:870–878 doi:10.2135/cropsci2005.0204

- García E. (2004)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Quinta Edición. Editorial Indianápolis D. F. México. 90 p
- González C. M. E., N. P. Rojas, A. E. Banda, C. A. B. Salazar (2013)** Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36. 329 – 338.
- Leach K. A., L. G. Hejlek, L. B. Hearne, H. T. Nguyen, R. E. Sharp and G. L. Davis (2011)** Primary Root Elongation Rate and Abscisic Acid Levels of Maize in Response to Water Stress. *Crop Science* 51:157–172 doi: 10.2135/cropsci2009.12.0708
- Munamava M. R., A. S. Goggi and L. Pollak (2004)** Seed Quality of Maize Inbred Lines with Different Composition and Genetic Backgrounds. *Crop Science* 44:542–548
- O’Neill P. M., J. F. Shanahan, J. S. Schepers and B. Caldwell (2004)** Agronomic Responses of Corn Hybrids from Different Eras to Deficit and Adequate Levels of Water and Nitrogen. *American Society of Agronomy* 96:1660–1667
- Palma-López D. J., R. Jiménez-Ramírez, J. Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, F. Gavi Reyes, D. Y. Palma-Cancino (2017)** Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad* 10: 29-35.
- SAS, Institute Inc. (2011)** Base SAS 9.3 Procedures Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016)** Cierre de la producción agrícola nacional en México. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (diciembre 2016)

CAPÍTULO III. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LÍNEAS PROLÍFICAS S₁ DE MAÍZ NATIVO TROPICAL DOSMESANO

3.1 Resumen

En Tabasco, México, la producción de maíz (*Zea mays* L.) es baja, por lo que en este trabajo se evaluó el rendimiento y otras características agronómicas de 14 líneas S₁ prolíficas de maíz nativo tropical dosmesano en dos ciclos de cultivo, lluvias 2016 y secas 2017. El experimento se estableció en el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, para estimar el porcentaje de plantas prolíficas (PP) y su comportamiento agronómico en mayor densidad poblacional que el del sistema tradicional local del cultivo. Los materiales fueron sembrados a una distancia de 0.80 m entre surcos y 0.20 m entre plantas, un surco por línea, una semilla por mata, distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: días a 50 % de antesis después de la siembra (DADS), días a 50 % de jiloteo (DJDS), altura de mazorca (AM) y de planta (AP), porcentaje de acame (PA), plantas jorras (PPJ), prolificidad (PP), y rendimiento de grano (RG) en kg ha⁻¹. A los datos se les realizaron análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey. Se encontraron diferencias significativas entre ciclos para las variables; PP, RG, DADS, DJDS, PPJ, PA y AM. En la época de lluvias el rendimiento fue de 4682 kg ha⁻¹, mientras que en secas bajó a 3296 kg ha⁻¹. En la temporada de lluvias de 2016, hubo significancia entre las líneas para DADS, DJDS, AM, AP y PA. Por otro lado, en la temporada de secas de 2017 hubo diferencias significativas entre líneas para AM, AP y PA. Entre los materiales no hubo diferencias significativas para PP, aunque las líneas 1, 2, 3, 5, 7, 10, 11, 12, 17, 20, 22 y 29 mostraron un descenso significativo en su PP de un ciclo a otro. Las líneas 4 y 9 se mantuvieron estables, es decir, sin cambio significativo de un ciclo a otro. Esto indica un comportamiento consistente en estas líneas a través de los ciclos de prueba.

Palabras clave

Zea mays, densidad, maíz nativo tropical dosmesano, líneas autofecundadas, Prolificidad, rendimiento.

3.2 Introducción

La prolificidad en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se refiere al número de mazorcas desarrolladas y producidas en una planta, siendo una característica con alta heredabilidad (de León y Coors, 2005), heredada del teocintle durante la domesticación, cambiando el número y la disposición de las mazorcas (Wills *et al.*, 2013). El carácter prolífico es referido como criterio de selección que puede emplearse en los programas de fitomejoramiento (Rodríguez, 2015), y está asociado con un mayor rendimiento de grano (Jampantong, 2000), ser tolerante a la falta de agua o estrés hídrico (Biasutti *et al.*, 1992), así como al manejo intensivo (de León y Coors, 2005). Las plantas prolíficas presentan más resistencia a la esterilidad en altas densidades que las no prolíficas (Varga, 2004).

Aunque la prolificidad en maíz se transfiere rápidamente con la endogamia (Al-Naggar *et al.*, 2012) el número máximo de mazorcas por tallo es determinado genética y ambientalmente (Tinca *et al.*, 2015). Por lo que la selección por prolificidad presenta buenos resultados, así lo demostró un estudio luego de cuatro ciclos de selección, donde la respuesta para prolificidad fue de 4.21 % y para rendimiento de 7.92 % por ciclo, mientras que el intervalo de floración presentó una reducción significativa de 1.6 días del C₀ al C₄ (Biasutti, 2004).

En una evaluación de tres distancias de siembra entre surcos y tres distancia entre plantas, la mayor prolificidad se presentó en distancias de 0.30 m entre plantas, disminuyendo a medida que la distancia entre plantas es más corta (Otahola *et al.*, 2001).

La prolificidad es una característica deseable en los cultivares de maíz para alcanzar mayores rendimientos de grano; dicha cualidad se puede emplear en la selección de progenitores de maíces nativos que presenten más de una mazorca por planta, debido a que tiene una influencia positiva en la capacidad de producción y estabilidad (Tinca *et al.*, 2015).

En el maíz nativo tropical dosmesano del estado de Tabasco, se presentan plantas con el carácter de prolificidad, lo cual puede aprovecharse para mejorar este carácter y aumentar el rendimiento de las poblaciones, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del carácter prolífico en líneas S₁ de maíz dosmesano en dos ciclos de cultivo. La hipótesis fue que es posible incrementar el carácter prolífico en fenotipos de maíz dosmesano y que estos presentan estabilidad ante los cambios ambientales de un ciclo de producción a otro.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Localización del experimento

La evaluación de los materiales se realizó en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en las coordenadas geográficas de 17° 99' LN y 93 ° 63' LW. El tipo de clima predominante es Am, con temperatura promedio de 26° C, precipitación media anual de 2277 mm (García, 2004), con tipo de suelo cambisol serie gamas (Palma-López *et al.*, 2017).

3.3.2 Diseño experimental

Los materiales en estudio se distribuyeron en campo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, bajo el modelo estadístico; $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$.

Donde:

Y_{ij} = valor observado

μ = media general

T_i = efecto del tratamiento

β_j = efecto del bloque

ϵ_{ij} = error experimental

3.3.3 Germoplasma y establecimiento de la parcela

Se evaluaron 14 líneas prolíficas S₁ de maíz dosmesano (1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 17, 20, 22 y 29), en dos ciclos de producción; un primer ensayo correspondió a la temporada de lluvias en el año 2016, realizándose la siembra el día 11 de mayo.

El segundo ensayo se estableció en la temporada de secas 2017, sembrando el día 01 de febrero. La siembra se realizó a una distancia de 0.80 m entre surcos y 0.20 m entre plantas, un surco por línea, una semilla por mata, en forma manual con espeque a una profundidad de 5 a 10 cm, aprovechando la humedad residual en el suelo. La parcela experimental fue de un surco, con una longitud de 5 m. La parcela útil consistió en un surco al que se eliminaron las plantas de los extremos.

3.3.4 Manejo agronómico

Se aplicaron dosis comerciales de fertilización foliar con Polyfeed ® y orgánico (purín) en proporción 2:20, purín: agua, después de la emergencia del cultivo. A los 15 días de la siembra se aplicó una mezcla 1:1 de urea y triple 17, en dosis de 5 kg ha⁻¹, diluido en 200 litros de agua, aplicado con aspersora de mochila, en la parte basal de las plantas. Para el control de maleza se aplicó Paraquat® en dosis de 150 ml diluido en 20 litros de agua, y para controlar el daño por gusano cogollero se utilizó Engeo® aplicando 20 ml del producto en 20 litros de agua con aspersora de mochila.

3.3.5 Variables evaluadas

De cada parcela experimental se tomaron datos de días a floración masculina (DFM), cuando el 50 % de las plantas estaba en anthesis, y días a floración femenina (DFF) cuando 50 % de los jilotes tenían los estigmas expuestos; también se midió el porcentaje de acame (PA), de plantas jorras (PJ) y de prolificidad (PP). En cinco plantas centrales del surco y con competencia completa, se tomaron datos de altura de mazorca (AM) y planta (AP), medidos en cm. El rendimiento de grano se ajustó de acuerdo al número de plantas productivas y se transformó a kg ha⁻¹, para lo cual se multiplicó el peso de grano promedio obtenido, en cada tratamiento, por su respectivo número de plantas viables en una hectárea de cultivo.

El análisis de los datos se realizó con los procedimientos GLM y comparación de medias de Tukey, con el programa estadístico SAS® 9.0 (SAS Institute Inc., 2011).

3.4 Resultados y discusión

3.4.1 Comportamiento de los fenotipos entre estaciones de cultivo

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre estaciones de cultivo para PP ($P = 0.0001$) (Cuadro 5.1) con valores medios de 5 % en lluvias y de 1 % en secas (Figura 5.1).

Cuadro 5. 1. Análisis de varianza de ocho variables de 14 líneas prolíficas S₁ de maíz nativo tropical dosmesano en dos ciclos de cultivo 2016-2017. Cárdenas, Tabasco, México.

F. V.	g. l	RG kg ha ⁻¹	AM	AP	PPJ	50 % A	50 % J	PA	PP
Ciclos	1	13440042.8 *	1344.1 *	128.5	2414.2 *	137.2 *	38.8 *	18772.3 *	112.0 *
Error		352230.0	146.2	268.3	21.4	6.7	4.0	249.8	4.1
C. V		14.8	10.7	7.0	48.7	3.7	2.8	40.0	63.6

F. V. = Fuentes de variación, g. l. = Grados de libertad, RG = Rendimiento de grano, AM = Altura de Mazorca, AP = Altura de Planta, PPJ = Porcentaje de plantas jorras, 50 % A = Días a Antes después de la Siembra, 50 % J = Días a Jiloteo después de la Siembra, PA = Porcentaje de Acame, PP = Porcentaje de prolificidad. C. V = Coeficiente de variación, * = ($P \leq 0.05$).

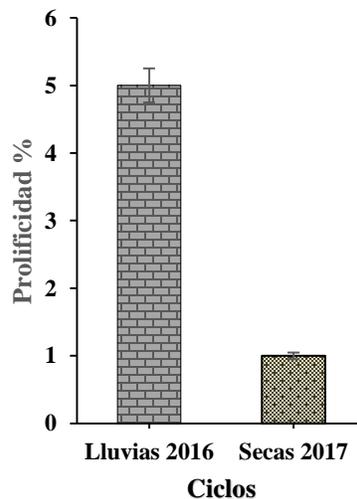


Figura 5. 1. Porcentaje de prolificidad en dos ciclos de producción de líneas prolíficas S₁ de maíz dosmesano

Los análisis indicaron que por ciclo de cultivo la prolificidad fue mayor en temporada de lluvias que en la estación seca. Se ha documentado que el número de mazorcas aumenta a 0.03 jilotes por planta por ciclo en alta densidad poblacional (de León y Coors, 2002). Aun en

condiciones favorables, como alta humedad, el número de mazorcas por planta es determinado genética y ambientalmente (Tinca *et al.*, 2015).

Para RG se encontraron diferencias significativas ($P = 0.0001$) entre ciclos de cultivo, con valores medios de 4682 kg ha^{-1} en la temporada de lluvias, y un descenso a 3296 kg ha^{-1} en la temporada de secas (Figura 5.2), lo que indica un efecto diferente del ambiente sobre el RG (Eberhart y Russel, 1969).

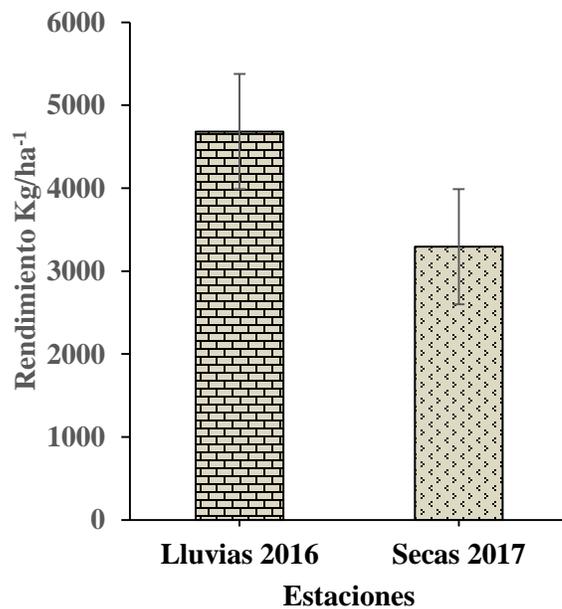


Figura 5. 2. Rendimiento de grano de 14 líneas S₁ en dos estaciones de producción. Cárdenas, Tabasco, México.

En cuanto a la selección de plantas prolíficas, Biasutty (2004) menciona que el rendimiento de grano en los materiales prolíficos se incrementa 7.2 % por ciclo. Con respecto al ambiente, en un trabajo previo se menciona que el rendimiento mayor se obtuvo cuando el cultivo recibió más radiación solar que cuando creció en el ciclo húmedo (Silva- Díaz *et al.*, 2009).

El rendimiento promedio de las líneas de 3989 kg ha⁻¹, considerando los dos ciclos resultó mayor que la media estatal de 1.8 t ha⁻¹(SIAP, 2016), por lo que se debe continuar seleccionando todos aquellos fenotipos prolíficos para una mayor producción, debido a que la prolificidad es un criterio valioso en el mejoramiento del maíz, que incrementa notablemente el rendimiento en condiciones de alta densidad, de hasta 80 000 plantas ha⁻¹ (Tinca *et al.*, 2015), muy superior a la usada en el sistema tradicional milpa.

Los materiales presentaron diferencias significativas entre estaciones para DADS (P = 0.0001), con valores medios en floración a los 67 días en secas y 71 días después de la siembra en temporada de lluvias; cabe mencionar que algunos individuos entre la población presentaron 50 % de anteras con granos de polen expuestos a los 60 días. También hubo diferencias significativas para DJDS (P = 0.0044), con valores medios de estigmas expuestos a los 69 días en la temporada de lluvias, y 71 días después de la siembra en la estación seca, aunque se observaron fenotipos que a los 65 días presentaban jilotes en llenado de grano. En un estudio de selección durante cuatro ciclos, la evaluación de los ciclos indicó que el intervalo de floración presentó una reducción significativa de hasta 1.6 días entre el C₀ y C₄ (Biasutty, 2004).

Para PPJ se encontraron diferencias significativas (P = 0.0001), con valores medios de 0.2 por ciento de plantas jorras en la estación lluviosa y 19 % en la estación seca, esto debido a que el maíz requiere de un buen suministro de agua, fertilidad del suelo y espaciamiento entre surcos (Sangoi, 2000), aun cuando los materiales prolíficos sean más tolerantes al estrés (De León y Coors, 2005).

El PA mostró diferencias significativas (P = 0.0001), con valores medios de 65 % en lluvias y 14 % en secas. Esto debido a que en la época de lluvias los vientos fueron más fuertes derribando los materiales al suelo, pero aun con más del 50 % de plantas acamadas los materiales cumplieron el ciclo de llenado de grano.

Las líneas presentaron diferencias significativas para AM ($P = 0.0054$), con un valor medio de 105 cm en la estación de lluvias y de 120 cm en secas, lo cual indica que son materiales con altura de mazorca de porte bajo (Silva-Díaz *et al.*, 2009).

Entre estaciones, no se encontraron diferencias significativas para AP ($P = 0.4950$), pues se presentaron valores medios de 234 cm en lluvias y 230 cm en secas, por lo que estos materiales pueden aprovecharse para uso forrajero en la agricultura (Cervantes-Ortiz, 2013) de Tabasco, pues podrían tener buenos rendimientos de forraje.

3.4.2 Comportamiento dentro de ciclos

3.4.2.1 Lluvias 2016

Entre líneas se encontraron diferencias significativas en DADS ($P = 0.0001$) (Cuadro 5.2) indicando que hubo variación entre los materiales, por lo que las líneas 1, 2, 3 y 5 presentaron precocidad con respecto del resto de los genotipos, al presentar valores medios de 61 a 63 días a floración masculina; estos resultados son similares a los reportados en estudios con materiales nativos en Villahermosa, Tabasco, los cuales alcanzaron la floración a los 65 días después de la siembra (Guillen, 2014).

Cuadro 5. 2. Análisis de varianza de ocho variables de 14 líneas prolíficas S₁ de maíz nativo tropical dosmesano en el ciclo de cultivo 2016. Cárdenas, Tabasco, México.

F. V.	g. l	RG kg ha ⁻¹	AM	AP	PPJ	50 % A	50 % J	PA	PP
Bloq	3	360413.3	1391.0	3490.0 *	2.1	7.3	19.3 *	1782.4 *	95.6
Trats	13	710079.2	2859.0 *	5164.0 *	2.1	50.7 *	32.7 *	1475.6 *	76.3
Error		1266473.6	387.3	836.7	2.1	5.0	5.0	310.0	105.4
C. V		24.0	18.6	12.3	748.3	3.3	3.2	26.9	93.4

F. V. = Fuentes de variación, g. l. = Grados de libertad, RG = Rendimiento de grano, AM = Altura de Mazorca, AP = Altura de Planta, PPJ = Porcentaje de plantas jorras, 50 % A = Días a Antesis después de la Siembra, 50 % J = Días a Jiloteo después de la Siembra, PA = Porcentaje de Acame, PP = Porcentaje de prolificidad. Bloq = Bloques, Trats. = Tratamientos, C. V = Coeficiente de variación, * = ($P \leq 0.05$).

Entre líneas, la variable DJDS presentó diferencias significativas ($P = 0.0001$), y las líneas 1, 2 y 5 alcanzaron la floración femenina a los 64 y 65 días con jilotes y estigmas expuestos para la fecundación. Al respecto, en un estudio de 129 familias S_1 de una población SA-6 de maíz del CIMMYT obtuvieron la floración femenina a los 65 días después de la siembra (Nájera, 2004).

Con respecto a las variables altura de mazorca y planta se encontraron diferencias significativas ($P = 0.0001$), indicando variación entre líneas. El valor medio más bajo en altura de mazorca lo presentó la línea 17 con 86 cm, y el valor medio más alto la línea 1 con 124 cm. En altura de planta el valor medio bajo, lo manifestó la línea 29 presentando 210 cm de altura, mientras que la línea 10, obtuvo el valor más alto con 255 cm. Se ha reportado que variedades y materiales nativos de Tabasco presentan altura de mazorca y planta similar con valores medios de 83 a 92 y 182 a 214 cm respectivamente (Guillen, 2012).

Evaluar el PA en plantas de maíz es importante para identificar qué materiales son tolerantes al acame y poder disminuir riesgos en la producción; al respecto, esta variable presentó diferencias significativas ($P = 0.0001$) indicando variación entre genotipos; la línea 20 obtuvo el valor medio más bajo con 2 %, mientras que las líneas 1 y 2 presentaron el valor medio más alto con 13 % de acame.

Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticas diferentes entre las líneas para PP ($P = 0.4403$), RG ($P = 0.8696$) y PPJ ($P = 0.4697$), aun así los valores medios de RG que presentaron los materiales fluctuaron de 3900 a 5100 kg ha^{-1} .

3.4.2.2 Secas 2017

El comportamiento de los materiales en el ciclo de secas fue el siguiente: entre líneas, hubo significancia ($P = 0.0201$) para RG (Cuadro 5.3), donde la línea 4 tuvo el valor medio más alto de 4780 kg ha^{-1} , mientras que la línea uno presentó un rendimiento de 2465 kg ha^{-1} , estos resultados

son interesantes, pues ambos rendimientos superan a lo reportado para la entidad, de 1.8 t ha⁻¹ (SIAP, 2016).

Cuadro 5. 3. Análisis de varianza de ocho variables de 14 líneas prolíficas S₁ de maíz nativo tropical dosmesano en el ciclo de cultivo 2017. Cárdenas, Tabasco, México.

F. V.	g. l	RG kg ha ⁻¹	PPJ	AM	AP	50 % A	50 % J	PA	PP
Bloq	3	966463.3	565.4	3019.2 *	5328.0 *	7.7	2.7	3394.4 *	154.7
Trats	13	1613327.6 *	165.8	2977.7 *	5484.3 *	7.0	1.7	507.2 *	95.9
Error		636972.0	265.8	428.9	783.6	10.3	1.9	239.3	113.0
C. V		24.4	86.7	17.3	12.1	4.5	1.9	115.0	325.3

F. V. = Fuentes de variación, g. l. = Grados de libertad, RG = Rendimiento de grano, AM = Altura de Mazorca, AP = Altura de Planta, PPJ = Porcentaje de plantas jorras, 50 % A = Días a Antesis después de la Siembra, 50 % J = Días a Jiloteo después de la Siembra, PA = Porcentaje de Acame, PP = Porcentaje de prolificidad. Bloq = Bloques, Trats. = Tratamientos, C. V = Coeficiente de variación, * = (P ≤ 0.05).

Altura de mazorca y de planta son variables para evaluar el crecimiento y porte de las plantas, estas características mostraron diferencias significativas entre líneas (P = 0.0001), lo cual indica variabilidad de porte en los materiales. La altura de mazorca más baja la presentó la línea tres, con porte de mazorca a los 96 cm de la superficie del suelo, mientras que la línea cinco obtuvo el valor medio más alto con 136 cm. En altura de planta la línea uno tuvo valores medios bajos de 203 cm, y la línea 9, el valor medio más alto con 259 cm. Estos resultados indican que los materiales nativos presentan buen porte de planta, el cual puede ocuparse para usarse también como forraje en la producción pecuaria.

En cuanto al acame, hubo diferencias significativas entre líneas para el PA (P = 0.0354), donde las líneas 4, 5 y 22 registraron valores medios bajos de 2 y 3 % de plantas acamadas, lo cual les confiere cierta tolerancia ante los embates del viento; cabe mencionar que aunque las demás líneas presentaron niveles altos de acame, los materiales se erguían nuevamente, protegiendo la mazorca y completando el llenado de grano a la madurez fisiológica.

Finalmente, en la estación de secas no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre líneas para PP ($P = 0.2366$), DADS ($P = 0.7655$), DJDS ($P = 0.5311$), y PPJ ($P = 0.8192$).

3.4.3 Comportamiento entre líneas de una estación a otra

Se presentaron cambios en el comportamiento entre líneas de un ciclo a otro, tal es el caso de la línea 4 que en la estación de lluvias presento 4 % de prolificidad y disminuyó en la estación seca a 3 % (Figura 5.3), siendo esta tolerante a las condiciones de escasez de agua en la estación seca (Biasutti *et al.*, 1992). En un estudio previo similar se menciona que la distancia entre plantas de 0.30 m puede aumentar la prolificidad en 1.05 mazorcas por planta (Otahola *et al.*, 2001).

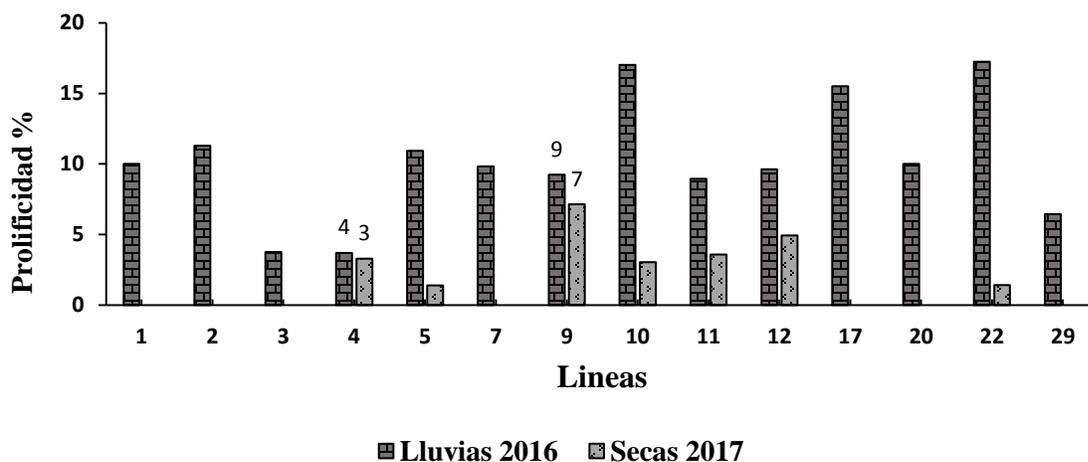


Figura 5. 3. Porcentaje de prolificidad en líneas S₁ de maíz nativo dosmesano, evaluadas en dos estaciones de producción. Cárdenas, Tabasco.

De manera similar, la línea 9 presentó 9 % de prolificidad en lluvias 2016 y disminuyó a 7 % en secas 2017. Las líneas 5, 10, 11, 12, y 22 presentaron un incremento alto de plantas prolíficas en la temporada de lluvias, sin embargo, en la temporada seca bajó a más del 50 %, el resto de las líneas presentaron notablemente la característica en la temporada de lluvias, pero en la temporada seca no la manifestaron. Aunque los resultados muestran un descenso del incremento de la prolificidad en temporada seca, es notable observar que el 50 % de las líneas evaluadas heredan el

carácter a su descendencia, lo cual coincide con la literatura que menciona que la prolificidad es heredable en la progenie a través del tiempo (de León y Coors, 2005), y así lo demostró un estudio, pues luego de cuatro ciclos de selección, la prolificidad aumentó 4.2 % por ciclo (Biasutti, 2004).

Para la variable RG, las líneas 4 y 5 presentaron un comportamiento favorable a través de estaciones. La línea cuatro en la estación húmeda 2016 registró un rendimiento de 4573 kg ha⁻¹, incrementándolo en la estación seca 2017 a 4783 kg ha⁻¹. En la línea 5 el incremento fue más notorio, ya que en lluvias 2016 obtuvo un rendimiento de 3900 kg ha⁻¹, aumentando en secas 2017 a 4155 kg ha⁻¹, mostrando buen comportamiento al recibir más radiación solar en la estación seca que en la húmeda. Las líneas restantes presentaron un descenso en el rendimiento de un ciclo a otro, aunque cabe destacar que sus rendimientos superaron a lo que se ha reportado en la entidad.

Con respecto a la floración, los materiales 4, 10 y 29 presentaron un desfase de un día de diferencia de un ciclo a otro alcanzando el 50 % de la floración masculina de 68 a 72 días después de la siembra entre ciclos; en el resto de las líneas el cambio fue de más de dos días de diferencia.

Cabe mencionar que algunos individuos entre la población presentaron 50 % de anteras con anthesis a los 60 días. Con relación a los días a 50 % de jiloteo, las líneas 11, 20, 22 y 29 presentaron estabilidad en los dos ciclos, pues sus estigmas estuvieron expuestos a los 71 días después de la siembra en los dos ciclos de cultivo; los genotipos restantes presentaron un cambio de más de tres días de un ciclo a otro. En algunos casos se ha documentado que existe reducción en el intervalo de floración de hasta 1.6 días del C₀ al C₄ (Biasutti, 2004).

La altura de mazorca presentó cambios de un ciclo a otro entre los materiales, modificando la arquitectura en las plantas con promedio de 106 cm en lluvias 2016 a 120 cm en secas 2017. En estudios previos han encontrado diferencias significativas ($P < 0.01$) para altura de mazorca con valores promedio de 140 cm (Silva-Díaz *et al.*, 2009).

En altura de planta, los genotipos 4, 5, 9, 12, 20 y 29 presentaron un incremento de hasta 30 cm de un ciclo a otro, con valores medios de 210 a 240 cm en lluvias y 245 a 259 cm en secas 2017, los genotipos restantes redujeron 40 cm en su altura, aun así estos materiales bien podrían emplearse para la producción de forraje, como en otros trabajos con materiales nativos del estado de Guanajuato con plantas de hasta 2.56 m de altura, utilizados para uso forrajero en la agricultura (Cervantes-Ortiz, 2013).

En porcentaje de acame, los materiales uno y dos presentaron una reducción del 50 % de plantas acamadas del ciclo de lluvias 2016 al de secas 2017; en las líneas restantes la reducción fue mayor, a excepción de la línea 22 que presentó acame de plantas, lo anterior es probable que se haya debido a que en la época de lluvias los vientos son más fuertes, derribando los materiales, sin embargo los materiales cumplieron el ciclo de llenado de grano.

En la estación de lluvias 2016, solo hubo porcentaje de plantas jorras significativo en la línea 7, con 3 % e incrementándolo en la estación seca 2017 a 17 %. En las demás líneas, solo la línea 9 tuvo el porcentaje menor, con 7 % de plantas improductivas. Lo anterior se debe a que el maíz requiere de buen suministro de agua, fertilidad del suelo y espaciamiento entre surcos (Sangoi, 2000), aun cuando los materiales prolíficos sean más tolerantes al estrés (De León y Coors, 2005) y resistan la aparición de esterilidad en las plantas (Jampatong *et al.*, 2000).

3.5 Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que los materiales 4, 5, 9, 10, 11, 12 y 22 mantuvieron su prolificidad en sus progenies, aunque estos hayan tenido un descenso entre ciclos. La línea 4 y 9 presentaron cierta estabilidad en ambos ciclos (3 y 7 %), respectivamente, lo cual las convierte en candidatas para continuar con la selección en ciclos posteriores.

El rendimiento promedio de grano que las líneas obtuvieron en ambos ciclos superan en 2189 kg ha⁻¹ a la media estatal de 1.8 t ha⁻¹.

3.6 Literatura citada

- Al-Naggar A. M. M., R. Shabana and A. M. Rabie (2012)** Inheritance of maize prolificacy under high plant density. Egypt. J. Plant Breed 16: 1 – 27
- Biasutti C. A y D. A. Peiretti (1992)** Associations of morphological characters under and without water stress conditions in maize (*Zea mays L.*) populations. Agriscientia 2: 59-64.
- Biasutti C. A., D. A. Peiretti, M. C. Nazar and G. A. Alemanno (2004)** Response to mass selection for prolificacy in maize in different environments. Agriscientia 2:45 -50
- Nájera G. C. y L. L. Moreno (2004)** Comportamiento de familias S₁ de Maíz en distintos PH del suelo. Bragantia Campinas 63:63-72
- Cervantes-Ortiz F., J. R. G. Soria, E. A. Enríquez, J. G. R. Reyes, J. A. R. Lucio, M. M. Elos, H. C. C. López y G. L. Romero (2013)** Relación del vigor inicial de plántula con caracteres de planta adulta en maíces criollos mejorados. Ciencia y Tecnología Agropecuaria México 1: 14-19
- De Leon N. and J. G. Coors (2002)** Twenty-Four Cycles of Mass Selection for Prolificacy in the Golden Glow Maize Population. Crop Science 42:325–333
- De León N., J. G. Coors, S. M. Kaeppler and G. J. M. Rosa (2005)** Genetic Control of Prolificacy and Related Traits in the Golden Glow Maize Population: I. Phenotypic Evaluation. Crop Science 45:1361–1369. doi:10.2135/cropsci2003.0486
- Eberhart S. A. and W. A. Russell (1969)** Yield and Stability for a 10-Line Diallel of Single Cross and Double-Cross Maize Hybrids. Crops Science 9:357-361
- García E. (2004)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Quinta Edición. Editorial Indianápolis D. F. México. 90 p
- Guillen P. de la C (2012)** Maíces Criollos de Tabasco: Diversidad Morfológica y Calidad Fisiológica en Semillas con Diferencias Estructurales. Tesis. Universidad Autónoma Antonio Narro. Torreon, Coahuila, Mexico. 88 p.
- Guillén-de la Cruz P., E. Cruz-Lázaro, S. A. Rodríguez-Herrera, G. Castañón-Nájera, A. Gómez-Vázquez, A. J. Lozano-del Rio (2014)** Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays L.*) del estado de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 46: 239-247
- Jompatong S., L. L. Darrah, G. F. Krause and B. D. Barry (2000)** Effect of One- and Two-Eared Selection on Stalk Strength and Other Characters in Maize. Crop Science 40:605–611

- Othaola-Gomez V. y R. Zulay (2001)** Comportamiento agronómico de maíz (*Zea mays L.*) tipo dulce bajo diferentes densidades de siembra en condiciones de sabana. *Revista UDO Agrícola* 1:18-24
- Palma-López D. J., R. Jiménez-Ramírez, J. Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, F. Gavi Reyes, D. Y. Palma-Cancino (2017)** Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad* 10: 29-35.
- Rodríguez I. F., A. G. Huerta, D. de J. P. López y M. R. Arriaga (2015)** Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrado en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1943-1955
- Sangoi L. (2000)** Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural* 31:159-168
- SAS, Institute Inc. (2011)** Base SAS 9.3 Procedures Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016)** Cierre de la producción agrícola nacional en México. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (diciembre 2016)
- Silva Díaz W. R., Y. J. A. Jiménez y R. J. J. Aponte (2009)** Evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista UDO Agrícola* 9: 743-755
- Tinca E., I. HAS, A. Copândeau (2015)** Prolificacy Study of Maize (*Zea mays L.*) Inbred Lines and Hybrids on ARDS-Turda. *Bulletin USAMV series Agriculture* 2: 547-550 doi 10.15835/buasvmcn-agr: 11464
- Varga B., Z. Svec̃njak, M. Knez̃evic̃, D. Grbes̃a (2004)** Performance of prolific and nonprolific maize hybrids under reduced-input and high-input cropping systems. *Field Crops Research* 90:203–212 doi:10.1016/j.fcr.2004.03.003
- Wills D. M., C. J. Whipple, S. Takuno, L. E. Kursel, L. M. Shannon, J. Ross-Ibarra, J. F. Doebley (2013)** From Many, One: Genetic Control of Prolificacy during Maize domestication. *PLOS Genetics* 9:1-13 doi:10.1371/journal.pgen.1003604

DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados obtenidos en el maíz nativo tropical dosmesano son pruebas notables de la capacidad de adaptabilidad que posee ante los cambios que el ambiente presente. Coexistir en el sistema milpa le ha permitido adquirir resistencia ante factores limitantes como la disponibilidad de agua, luz y nutrientes, esas características que presentan los maíces nativos ha hecho posible que en los últimos años se realicen estudios sobre el mejoramiento y cultivo para aumentar su valor (Gaytan-Martinez, 2013), así como obtener mejores rendimientos, como el que presento el maíz dosmesano establecido en Cárdenas, Tabasco, 2016, el cual al modificar su arreglo topológico respecto a la densidad tradicional de 40 000 plantas/ha y ajustarlo a 80 000 plantas/ha, aumento notablemente el rendimiento de 1800 a 3800 kg ha⁻¹, estos resultados son propicios para los productores quienes podrán obtener mejores ingresos al vender la producción ya sea como elote o grano, así como tener un mejor abastó familiar.

En la evaluación temprana de líneas S₁ de maíz dosmesano los resultados obtenidos son prueba fehaciente de que tiene características de alta productividad similar a los híbridos comerciales, con buen comportamiento en alta densidad poblacional, lo cual es idóneo para la formación de híbridos adaptados a las condiciones regionales con altos rendimientos.

La característica de prolificidad que el maíz nativo dosmesano presenta es favorable debido a que incrementa el rendimiento de grano al cosechar dos mazorcas por planta, con ello el productor puede ocupar una de las mazorcas para venderla como elote, preparar tamal, ensilar o dejarla para grano. Además la prolificidad es heredable por lo que la selección para este carácter es ideal para la formación de líneas prolíficas de alta productividad.

Por lo tanto el maíz nativo tropical dosmesano del estado de Tabasco, posee características valiosas que pueden ser aprovechadas para mejorar la baja producción en el estado y convertir a la región

en uno de los graneros de México, hacerlo tendrá buena repercusión productiva, económica y social, implementando las técnicas de mejoramiento genético, apoyara a que exista más alimento al alcance de la población y con ello asegurar la soberanía alimentaria.

CONCLUSIONES GENERALES

De los estudios llevados a cabo en este trabajo, se concluye que existe potencial agronómico en el maíz nativo tropical dosmesano para responder productivamente a elevadas densidades poblacionales. Así mismo, de una población de maíz dosmesano es posible derivar líneas endogámicas con características de alta productividad y prolificidad, las cuales presentan cierta estabilidad en su comportamiento agronómico al interactuar con el ambiente. Tanto la capacidad productiva del maíz dosmesano en un sistema milpa con mayor densidad de población, como las líneas endogámicas productivas que se derivaron de este maíz, son indicadores de que la producción de maíz en Tabasco puede aumentarse y convertir al estado en uno de los graneros de México.