

**ESTUDIO FISIOLÓGICO EN FAMILIAS PROLÍFICAS DE UN LOTE DE
PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE LA VARIEDAD DE MAÍZ JAGUAN**

Héctor Hugo Velázquez Reyes

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA

DE GRANOS Y SEMILLAS



Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

“ESTUDIO FISIOLÓGICO EN FAMILIAS PROLÍFICAS DE UN LOTE DE
PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE LA VARIEDAD DE MAÍZ JAGUAN”

T E S I S

HÉCTOR HUGO VELÁZQUEZ REYES

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y Aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS
COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:


Ph.D. Norma Angélica Ruiz Torres


Asesor:

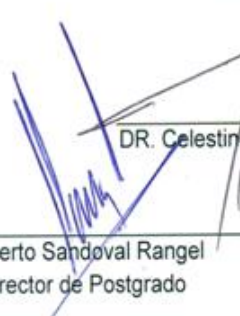

Ph.D. Froylán Rincón Sánchez

Asesor:


Ph.D. Juan Manuel Martínez Reyna

Asesor:


DR. Celestino Flores López


DR. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2014

AGRADECIMIENTOS

A mi **Alma Máter** la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por brindarme apoyo económico para realizar mis estudios de postgrado.

A la **Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres** por asesorarme y ofrecerme su apoyo incondicional durante el desarrollo de mis estudios de postgrado, es una gran persona, muy dedicada, responsable y trabajadora.

Al **Ph. D. Froylán Rincón Sánchez** por colaborar en mi trabajo de investigación, por compartir sus conocimientos conmigo e instruirme. Gracias por depositar su confianza en mí, aprendí mucho.

Al **Dr. Celestino Flores López** por colaborar en mi trabajo de investigación, es una gran persona y excelente maestro, gracias por brindarme su amistad y sus consejos.

Al **Ph. D. Juan Manuel Martínez Reyna** por brindarme su ayuda y colaborar en mi trabajo de investigación con sus observaciones y consejos.

A todo el personal del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología y Semillas (**CCDTS**).

DEDICATORIA

A mis padres **Humberto Velázquez Piedra y Amelia Reyes Orona**, gracias por darme la vida, por estar presentes en cada etapa de mi formación. Gracias a los dos por darme sus consejos y su apoyo, gracias por enseñarme a valorar y a respetar a las demás personas, por enseñarme a ser agradecido con los demás. Gracias por educarme y enseñarme a ser una persona útil, los quiero mucho.

A mis hermanos, **Alan, Monse y Sergio**, gracias por apoyarme y estar conmigo en todos los momentos siempre han sido y serán un ejemplo para mí.

A mi novia, **Lynette Alvarado**, gracias por brindarme tu apoyo y estar conmigo en todo momento, eres una gran persona.

A mis amigos, **Gregorio Martínez, Justino Hernández, Cecilia Balderas, Moroni, David Ramírez, Ana Luna, Karen Trejo, Mary Victorino, Gaby Victorino, Pamela Gamboa, Laura Salas, Ulises Solís, Chava** y todos mis compañeros que siempre han estado presentes en las buenas y en las malas.

COMPENDIO

ESTUDIO FISIOLÓGICO EN FAMILIAS PROLÍFICAS DE UN LOTE DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE LA VARIEDAD DE MAÍZ JAGUAN

POR:

HÉCTOR HUGO VELÁZQUEZ REYES

MAESTRÍA

TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, DICIEMBRE 2014

Ph. D. Norma A. Ruíz Torres – Asesor –

Palabras clave: maíz criollo, prolificidad, sistema de producción, calidad, dureza de endospermo.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Medir el efecto que tiene la prolificidad y el sistema de producción sobre las características físicas de la mazorca y de la semilla en diferentes familias de maíz criollo derivadas de la variedad mejorada Jaguan, 2) Determinar el efecto de dos diferentes sistemas de producción (en surcos de plantas macho y en surcos de plantas hembra) en la calidad fisiológica de la semilla de familias de maíz criollo mejorado, 3) Determinar si la prolificidad (primera y segunda mazorca) incide en las propiedades físicas y fisiológicas de la semilla de familias de maíz criollo mejorado, 4) Medir la respuesta de la asimilación de CO₂ y variables asociadas, en plantas obtenidas de semilla proveniente de plantas macho (con espiga) y de plantas hembra (desespigadas) y de la primera o de la

segunda mazorca. Se utilizó semilla de la cosecha 2012 del ejido “El Mezquite”, Galeana, Nuevo León. La semilla se obtuvo de plantas prolíficas de familias de medios hermanos, de un lote de producción de donde se tomaron 10 plantas macho y 10 plantas hembra con la primera y la segunda mazorca; las plantas que se usaron como hembra, fueron desespigadas y las plantas macho no se desespigaron. Se realizaron cinco estudios I). Caracterización física de la mazorca y la semilla; II). Análisis de dureza de grano; III). Calidad fisiológica de semilla; IV). Prueba de vigor y emergencia; V). Tasa de asimilación de CO₂. En los resultados se obtuvo lo siguiente: Estudio I. Se encontraron diferencias significativas en las variables peso de la mazorca (PMAZ), semillas por hilera (SHIL) y longitud de la mazorca (LMAZ). Se obtuvieron los valores más altos en la primera mazorca para las variables: PMAZ (145.35 g), semillas por hilera (33.2) y LMAZ (15.43 cm). Para atributos físicos de la semilla, se encontraron diferencias significativas en largo de semilla y en peso de mil semillas (PMS); la semilla que provino de la primera mazorca presentó mayor largo (11.62 mm) y PMS (283.52 g). Estudio II. De acuerdo al índice de flotación (IF) se obtuvieron valores en un rango de 0% a 68%. La dureza de endospermo se clasificó de suave a muy duro, con tiempos de cocción de 30 a 45 minutos, respectivamente. Estudio III. Se observaron diferencias significativas para sistemas de producción en las variables vigor, longitud de plúmula y de radícula. Y entre la primera y la segunda mazorca para peso seco de plántula, con 76.11 mg plántula⁻¹ para la primera mazorca. Estudio IV. En invernadero, se reportan diferencias significativas en las variables índice de velocidad de emergencia, emergencia total (ET) y peso seco de plántula (PS). La ET (98.8%) de

plántulas derivadas de semilla de familias de plantas hembra, fue estadísticamente superior que las obtenidas de semilla de plantas macho (97.3%). En la variable PS, en plántula que provino de semilla de la primera mazorca se obtuvo un valor de 70 mg plántula⁻¹, siendo estadísticamente superior a las plántulas que procedían de semilla de la segunda mazorca.

Estudio V. En el estudio de asimilación de CO₂ en plantas de maíz en campo, se reportan diferencias significativas en las variables relacionadas con el ambiente y no con la fisiología de la planta. Se obtuvo una media en la tasa de asimilación neta de CO₂ de 45.675 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹, lo cual se considera óptimo para plantas de maíz cultivadas en campo, además se observó en promedio un C_i bajo de 97.217 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, lo cual indica una alta eficiencia de las células del mesófilo en la fijación de CO₂, considerando además una apertura estomática que permitió un adecuado suministro de CO₂. La tasa de transpiración se mantuvo alta con un valor de 14.482 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, lo cual indica que las plantas estuvieron perdiendo agua en forma de vapor.

ABSTRACT

**PHYSIOLOGICAL STUDY IN PROLIFIC FAMILIES OF A CORN SEED
PRODUCTION FIELD OF THE JAGUAN VARIETY**

BY

HÉCTOR HUGO VELÁZQUEZ REYES

MASTER

TECNLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DECEMBER 2014

Ph. D. Norma A. Ruiz Torres – Asesor –

Key words: maize landrace, prolificacy, production system, quality, endosperm hardness.

The objectives of this research were: 1) To measure the effect of prolificacy and the production system in the physical ear characteristics of families derived from the improved landrace Jaguan variety, 2) To determine the effect of two different production systems (rows of male plants and rows of female plants) on the seed physiological quality of an improved maize landrace, 3) To determine whether prolificacy (first and second ear) has influence on the physical and physiological properties of seed in an improved maize landrace, 4) To measure the CO₂ assimilation response and associated variables, in plants obtained from seeds of male plants (with tassel) and female plants (detasseled) and from the first and the second ear. Seed from the 2012 harvest was used, from ejido “El

Mezquite”, Galeana, Nuevo Leon. The seed was obtained in a production field from prolific half sib families, where ten male plants and ten female plants with two ears (first and second) were selected. Female plants were detasseled, while male plants were not. Five studies were realized: I) Physical characterization of the ears (cobs) and seeds, II) Kernel hardness test, III) Physiological seeds quality, IV) Emergency and vigor test, and V) Plants CO_2 assimilation in the field. Results: Study I. Significant differences were found for ear weight (PMAZ), seeds per row (SPH) and ear length (LMAZ). Highest values were obtained for the first ear in the following variables: PMAZ (145.35 g), SPH (33.2) and LMAZ (15.43 cm). For physical seed attributes, significant differences were obtained for seed length and a thousand seeds weight; the seed that came from the first ear had higher length (11.62 mm) and seed weight (283.52 g). Study II. According to the flotation index, values in a range of 0% to 68% were observed. Endosperm hardness was classified from soft to very hard, with cooking times from 30 to 45 minutes, respectively. Study III. Significant differences were found for vigor, plumule and radicle lengths. Also, significant differences between the seed from the first and the seed from the second ear were found for the variable seedling dry weight, with 76.11 mg seedling⁻¹ for the seed from the first ear. Study IV. In the greenhouse, significant differences were found for the speed emergence index, total emergence (ET), and seedling dry weight (PS). The ET of seedlings derived from seeds of the female plants families, was statistically superior to that of the male plants seed. For PS from seed that came from the first ear, a value of 70 mg seedling⁻¹ was obtained, being statistically superior

to those seedlings that came from seed of the second ear. Study V. In the field plants CO₂ assimilation study, significant differences were observed for variables related to the environmental factors and not to the plants physiology. For the net rate of CO₂ assimilation, a mean of 45.675 mol CO₂ m⁻² s⁻¹ was obtained, which is considered optimal for maize plants grown in the field. A low average for the intercellular CO₂ concentration was detected (97.217 mol CO₂ m⁻² s⁻¹), indicating a high efficiency of the mesophyll cells in the CO₂ fixation, considering an adequate stomatal opening for CO₂ supply. Transpiration rate remained high with a mean value of 14.482 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, indicating that the plants were losing water vapor.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
Importancia del maíz	5
Sistemas de producción de maíz.....	6
Desespigamiento en maíz	9
Asimilación de CO ₂	11
Atributos físicos y calidad fisiológica.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
Material genético	17
Estudio I. Caracterización física de la mazorca y semilla	18
Estudio II. Análisis de dureza del grano.....	20
Estudio III. Calidad fisiológica de semillas	21
Ensayo de germinación en laboratorio	21
Estudio IV. Prueba de vigor y emergencia.....	24
Estudio V. Asimilación de CO ₂	26
Análisis estadístico	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
Estudio I. Caracterización física de la mazorca y semilla	28
Caracterización de las mazorcas	28

Caracterización de la semilla.....	30
Estudio II. Análisis de volumen y dureza de grano	32
Estudio III. Calidad fisiológica de semillas	35
Ensayo de germinación en laboratorio	35
Estudio IV. Prueba de vigor y emergencia.....	38
Estudio V. Asimilación de CO ₂	41
V. CONCLUSIONES	47
VI. LITERATURA CITADA.....	49
Anexo 1.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de cocción.....	21
Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracterización de las mazorcas de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.	29
Cuadro 3. Comparación de medias para caracterización de mazorcas de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.....	30
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para atributos físicos en semilla de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.....	31
Cuadro 5. Comparación de medias para atributos físicos en semilla de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.....	32
Cuadro 6. Dureza del endospermo y tiempos de cocción de grano de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.....	34
Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para ensayo de germinación en semilla de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.	36
Cuadro 8. Comparación de medias de ensayo de germinación en semilla de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.....	38
Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para pruebas fisiológicas en invernadero de la semilla de familias de plantas prolíficas de diferentes sistemas de producción.....	39
Cuadro 10. Comparación de medias para pruebas fisiológicas en invernadero de la semilla de familias de plantas prolíficas procedentes de diferentes sistemas de producción.....	41

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza del estudio de asimilación de CO ₂ de familias de plantas prolíficas de diferentes sistemas de producción.	45
Cuadro 12. Comparación de medias para estudio de asimilación de CO ₂ de familias de plantas prolíficas de diferentes sistemas de producción.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Promedios del índice de flotación de familias de plantas prolíficas en dos sistemas de producción.....	33

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es originario de México, su evolución como cultivo se llevó a cabo por los agricultores, quienes seleccionaron y generaron innumerables variedades criollas que forman parte de la dieta y costumbres alimenticias de diferentes pueblos. En México, el maíz es la base de la alimentación y es consumido por todas las clases socioeconómicas, por lo que es el cultivo más importante. El área cultivada, volumen, valor de producción y preferencia en la alimentación humana y pecuaria, así lo justifican. Lamentablemente, más del 50 % de la superficie anual sembrada con maíz es bajo condiciones de temporal malo, y en condiciones marginales de fertilidad y labores de cultivo; esta gran superficie se considera de subsistencia, ya que el agricultor debe asegurar su sustento en primer término, con producciones inferiores a 1 t ha^{-1} cuando se cosecha, y no puede ser compensada con los buenos rendimientos medios de 4 t ha^{-1} o más que se obtienen en buen temporal, humedad o riego.

La demanda de este cereal para alimento de los más de 120 millones de habitantes en México, cuyo consumo per cápita es superior a los 200 kg, ocasiona que, en años de mal temporal o de graves siniestros, la producción sea insuficiente y tenga que recurrirse a una fuerte importación.

En el estado de Coahuila se produce únicamente el 0.2 % del maíz que se consume en México (SIAP, 2013), siendo el cultivo más importante de la

Región Sureste, y la mayor parte de la producción se destina al autoconsumo humano, a la alimentación de ganado y como semilla. En la región temporalera, la baja capacidad económica de los agricultores, no les permite aplicar insumos básicos y mucho menos la mecanización del cultivo. Además, los agricultores que se dedican a la producción de maíz, han identificado como uno de sus principales problemas la falta de semillas adecuadas para la siembra, teniendo preferencia por las variedades criollas, por lo que una opción para incrementar la producción de este cereal a nivel regional, es el mejoramiento genético de estos materiales, de tal manera que sean atractivos al productor. En este sentido, el mejoramiento participativo se ha convertido en una opción, ya que ha permitido en algunas regiones ampliar la base genética de las poblaciones criollas, introduciendo genes de caracteres de interés para los agricultores, incluyendo aquellos que facilitan el manejo del cultivo, como la reducción de la altura de planta, resistencia al acame, precocidad a la madurez y mejor potencial de rendimiento; este último mediante el incremento en el número de hileras por mazorcas, mazorcas de mayor tamaño y mayor prolificidad o número de mazorcas por planta. La prolificidad o número de mazorcas por planta, es un carácter de estudio de gran interés en el maíz, además los agricultores tienen preferencia por materiales con esta característica, ya que pueden obtener mayores rendimientos del cultivo. Selección por este carácter aunado al desespigamiento de plantas y la aplicación de fertilizantes, pueden incrementar el rendimiento y la calidad de la semilla.

En este trabajo, se presentan resultados de un estudio realizado en campo en donde se sembró semilla proveniente de un lote de producción de

semillas, utilizando plantas hembra (desespigadas) y de plantas macho, con el carácter de prolificidad (dos mazorcas, primera y segunda). En laboratorio se caracterizaron las mazorcas y la semilla, y se realizaron ensayos de germinación. En invernadero se determinaron el índice de velocidad de emergencia y la emergencia total.

Objetivos

- Medir el efecto que tiene la prolificidad y el sistema de producción sobre las características físicas de la mazorca y de la semilla de diferentes familias de maíz criollo.
- Determinar el efecto de dos diferentes sistemas de producción (en surcos de plantas macho y en surcos de plantas hembra) en la calidad fisiológica de la semilla de familias de maíz criollo.
- Determinar sí la prolificidad (primera y segunda mazorca) incide en las propiedades físicas y fisiológicas de la semilla de familias de maíz criollo.
- Medir la respuesta de la asimilación de CO₂ y variables asociadas, en plantas obtenidas de semilla proveniente de plantas macho (con espiga) y de plantas hembra (desespigadas) y de la primera o de la segunda mazorca.

Hipótesis

- Los sistemas de producción y la prolificidad tienen efecto en las características físicas de la mazorca y de la semilla.
- Las propiedades físicas y la calidad fisiológica de la semilla, son modificadas por el sistema de producción (surcos de plantas hembra o surcos de plantas macho) y por la posición de la mazorca (primera o segunda).
- La prolificidad corresponde a una mayor productividad, sin afectar la calidad de la semilla.
- El desespigamiento tiene un efecto positivo en la asimilación de CO_2 , ya que la planta desvía y utiliza los fotosintatos en el desarrollo y llenado de la mazorca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial tanto como alimento humano y para ganado, así como para semilla. La FAO (2013) indica que la producción mundial de maíz fue de 989 millones de toneladas; por lo que, el maíz, constituye inmediatamente después del arroz y del trigo, el tercer lugar en importancia mundial. Los productores más grandes de maíz a nivel mundial son: Estados Unidos, China, Brasil, Argentina, India y México (FAO, 2013).

El maíz es la principal especie cultivada en México, al ocupar anualmente una superficie de 7.48 millones de hectáreas, con un volumen de producción de 22.66 millones de toneladas y con un rendimiento medio en riego y temporal de 3.19 t ha⁻¹ (SIAP, 2013). A pesar de que en México la producción de este cereal es importante, existen diferentes eventos que alteran la productividad, principalmente factores como: condiciones ambientales no favorables, incidencia de plagas y enfermedades, escaso uso de insumos y utilización de variedades con bajo potencial productivo (Briones, 2007).

En el estado de Coahuila en la región sureste, el cultivo de maíz, es el más importante bajo condiciones de temporal (Aguirre *et al.*, 2011). En el 2013 se sembraron 24,642 ha de temporal y el rendimiento promedio fue de 0.72 t ha⁻¹ (SIAP, 2013).

Sistemas de producción de maíz

En México, existen dos tipos de productores de maíz; el primer grupo, constituido por el 8%, con predios arriba de 5 hectáreas por productor, los cuales aportan 43.6% de la producción; sus predios presentan buenas condiciones para el cultivo, por lo que sus rendimientos son buenos y únicamente destinan el 13.55% de su producción al autoconsumo; en el segundo grupo, donde se encuentra la mayoría de los productores (92%) posee predios menores a cinco hectáreas y aportan el 56.4% de la producción total; en general más de la mitad de su producción (52%) se destina a autoconsumo y como semilla y los rendimientos fluctúan entre 1.3 y 1.8 t ha⁻¹ (Zambrano, 2013).

En el mismo sentido, Carballo y Hernández (2013) comentan que el 56% de la producción nacional se obtiene en la modalidad de temporal, del cual el 94% corresponde a producción del ciclo primavera-verano. En más del 75% de la superficie se utiliza semilla de variedades criollas, las cuales además de estar adaptadas a las condiciones climáticas y tecnológicas de los productores, poseen características que les permiten responder a sus gustos alimenticios y preferencias.

Maíz criollo es un término que comúnmente se emplea para denotar que es un material nativo de una comunidad, región, estado o país, y que se diferencia de un material extranjero, un maíz híbrido o una variedad mejorada. Está conformado por una población y los agricultores las diferencian por su color, textura, forma del grano, forma de la mazorca, ciclo vegetativo y uso. Son materiales que han sido formados por los agricultores durante años, mediante selección empírica, y los conservan y manejan año tras año en un complejo sistema de intercambio de semillas y genes. También puede considerarse como maíz criollo (criollo hibridado o mejorado) a la población de plantas resultante de un cruzamiento natural o artificial (cruzamiento realizado por agricultores, mejoradores o ambos) con un material mejorado, siempre y cuando la población tenga un 75% de las características del material criollo original y sólo el 25% del material mejorado (Aragón *et al.*, 2006).

En zonas de temporal, la semilla de las variedades criollas normalmente es obtenida por el productor después de la cosecha, realizando la selección en el granero, troje o almacén, con base a criterios que él considera apropiados, tales como tamaño, número de hileras y sanidad de la mazorca; color y textura de la semilla; y olote delgado, entre otros. Este tipo de selección tradicional practicada a través del tiempo, ha hecho de la planta de maíz una de las más eficientes en la producción de semilla/grano; sin embargo, debido a que la mejor mazorca seleccionada en esas condiciones puede provenir de plantas que se desarrollan sin competencia o que fueron

polinizadas por plantas indeseables, el avance que se obtiene en rendimiento y otros atributos agronómicos favorables, es lento.

Al respecto, Zambrano (2013) menciona que el mejoramiento participativo ha sido propuesto para servir tanto al agricultor, como a la conservación de la diversidad genética, aprovechando la riqueza de las variedades nativas que han sido seleccionadas y mejoradas por los propios agricultores de acuerdo a sus necesidades y condiciones agroecológicas, por muchas generaciones. Considerando lo anterior, el mejoramiento participativo da la pauta para generar variedades criollas mejoradas adaptadas a regiones específicas, a través de la colaboración entre campesinos y fitomejoradores.

El mejoramiento participativo aumenta las opciones de rentabilidad para los agricultores y ayuda a que conserven una amplia diversidad genética en su sistema de producción. Se lleva a cabo en los campos de los productores y con los materiales locales. De este modo es posible introducir algunas características buscadas por los agricultores, como la altura de la planta, mayor precocidad o la prolificidad. En relación a lo anterior, Martínez *et al.* (1992) señalan que uno de los caracteres más importantes en maíz, es la prolificidad, medida como el número de mazorcas por planta; es uno de los principales componentes del rendimiento. Se espera que a mayor prolificidad corresponda mayor productividad. Biasutti *et al.* (2004) encontraron que la expresión de la prolificidad depende de un ambiente favorable y que es

efectiva como criterio de selección indirecto para incrementar el rendimiento del grano.

En relación a lo anterior, Espinoza *et al.* (2004) evaluaron el rendimiento y algunos componentes de poblaciones prolíficas de maíz en dos densidades de siembra y encontraron que el rendimiento de grano se incrementa al aumentar la densidad de siembra. La contribución relativa de las mazorcas al rendimiento por hectárea fue de 70 % la primaria, 29 % la secundaria y menos de 1% la terciaria.

La presencia en una planta de maíz de dos o más mazorcas, potencialmente aptas para formar granos, resulta en una máxima utilización del producto fotosintético, el cual después de haberse formado en el área foliar y los tallos, se mueve hacia diferentes órganos de almacenamiento como son las mazorcas.

Desespigamiento en maíz

El desespigamiento es un sistema de producción de semilla híbrida utilizado para el mantenimiento y para la producción de semillas. Esta práctica consiste en eliminar espigas antes de que liberen el polen, de esta manera se logra el cruce adecuado del progenitor que participa como macho, con el otro que participa como hembra. El progenitor hembra debe ser desespigado antes de que la espiga libere polen. Es importante realizar una primera inspección para detectar las primeras espigas cuando la planta presenta la punta de la hoja bandera, a partir de ese momento la supervisión

debe ser diaria. Se elimina la espiga antes de que se exponga completamente, preferentemente cuando todavía está dentro de la planta. El desespigue puede ser manual o mecánico y se realiza hasta que termine el periodo de floración, dependiendo de las condiciones climatológicas. Es necesario que las espigas se lleven fuera del terreno ya que aún después de eliminadas pueden derramar polen y no deben estar cerca del lote de producción de semilla. Así mismo, es importante que la eliminación de espigas se lleve a cabo en forma eficaz y oportuna para obtener la calidad genética que corresponde al material planeado para su incremento de semilla; es decir, que en todas las plantas hembras, la polinización sea del progenitor masculino.

Por su parte, Luna (2011) menciona que el periodo de desespigamiento es generalmente el periodo más crítico y difícil de manejar. Para lograr los estándares de pureza genética necesarios, la espiga completa del progenitor hembra debe ser removida antes de la emisión del polen o de la aparición de los estigmas. Espinosa *et al.* (2010) comentan que el desespigue mantiene la pureza genética y evita contaminaciones con polen que genera autofecundaciones cuando no se hace oportunamente.

Kiesselbach y Leonard (1932) propusieron una teoría para explicar el aumento de peso de grano, mediante la práctica de desespigamiento. Cuando se elimina la espiga de la planta, los carbohidratos destinados a la producción de polen se desvían en otras direcciones, principalmente son utilizados en la producción de grano. Para comprobar su hipótesis, los

citados autores diseñaron un experimento con dos tratamientos; el primero, consistió en eliminar la espiga; el segundo, se conservó la espiga. Observaron un incremento del 1.5 % en el rendimiento del grano por efecto del desespigamiento.

Por otra parte en un estudio realizado por Sánchez (2009), en poblaciones criollas de maíz macho y hembra, se encontró mayor calidad física y fisiológica en semilla de la población macho, en comparación a la población hembra. Atribuyendo esto al desespigue aplicado en la población hembra, que posiblemente modificó el metabolismo de las plantas, reflejándose en una disminución de la calidad de la semilla.

Asimilación de CO₂

Las plantas tienen la capacidad de captar y fijar el CO₂ atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la síntesis de azúcares y otros compuestos que se requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital.

En la actualidad, el exceso de CO₂ en la atmósfera, ha modificado el balance final del ciclo de carbono, influyendo de manera decisiva sobre las condiciones climáticas. El contenido de CO₂ ha crecido continuamente desde 280 ppm en 1860 a 400 ppm en 2014, lo que es probablemente la concentración más alta de los últimos millones de años (Oyazún, 2014).

Las plantas, en general, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO_2) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en CO_2 (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa). Gardner *et al.* (1985) señala que, la biomasa total a cosecha de los cultivos es el resultado de la acumulación neta del CO_2 asimilado durante todo el ciclo de crecimiento.

Mota *et al.* (2009) menciona que el CO_2 retenido por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO_2 atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO_2 emitido por la atmósfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta. Por lo tanto, los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono y la agricultura puede ser un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO_2 atmosférico.

En el maíz, la tasa neta de asimilación de CO_2 es importante porque de ella depende el llenado de semilla y por lo tanto en plantas prolíficas el éxito de obtener dos o más mazorcas de buen tamaño. Así mismo con el desespigue, hay una redistribución de fotosintatos en la planta, que puede favorecer el llenado del grano. Al respecto, Gardner *et al.* (1985) indica que la fotosíntesis de partes no laminares de la planta (por ejemplo la espiga en maíz) pueden influir también en la utilización de la luz solar y estas pueden contribuir significativamente al rendimiento de los cultivos. Los parámetros para una mayor productividad y mejor calidad de los productos cosechables

dependen básicamente del comportamiento fotosintético de la planta, el cual está controlado por factores intrínsecos (lugares internos de la hoja) y extrínsecos (temperatura, intensidad de luz y humedad) (Polanía *et al.*, 1982).

En la mayoría de las plantas superiores, como el maíz, los aumentos de temperatura en un rango de 0 a 30 °C favorecen la apertura estomática, la respuesta a estos cambios de temperatura se debe al efecto de esta sobre los mecanismos de respuesta al CO₂ (Morales *et al.*, 2006).

En un estudio realizado por Leakey *et al.* (2006) se determinó que la concentración elevada de CO₂ atmosférica no tiene efecto directo en la fotosíntesis del cultivo de maíz, en un futuro, las elevadas concentraciones pueden servir para mejorar los rendimientos del cultivo.

Atributos físicos y calidad fisiológica

Uno de los principales problemas de los sistemas de semillas es el control de calidad. La calidad de la semilla abarca la suma de todas las propiedades o características las cuales determinan el nivel potencial del comportamiento de las semillas o lotes de semillas y del establecimiento del cultivo. Los componentes de la calidad de la semilla incluyen los aspectos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios (microorganismos e insectos). Estos cuatro componentes pueden ser afectados adversamente durante la producción, procesamiento, almacenamiento y transporte de las semillas (Méndez *et al.*, 2007). Se debe considerar también que, la calidad de las

semillas es un elemento de suma importancia para los productores, por tal motivo las pruebas de calidad física y fisiológica son primordiales para estimar eficacia (Bustamante, 2010). La calidad es también caracterizada por el peso de 1000 semillas, expresado en gramos. Normalmente depende del tamaño y la densidad. Un peso alto es generalmente relacionado con un tamaño grande. A mayor peso mayor porcentaje de endospermo (Moreno, 1984). Por otra parte, el tamaño de las semillas tiene un efecto pronunciado sobre el crecimiento inicial de las plantas. En estudios realizados en semillas de maíz, se encontró que las de tamaño grande tienen un efecto positivo en la germinación, vigor, peso seco y emergencia de plántulas (Villaseñor, 1984).

La velocidad de germinación es uno de los conceptos más antiguos de vigor, encontrándose que lotes de semilla con idénticos porcentajes de germinación total, pueden variar en su velocidad de emergencia y crecimiento. Las semillas vigorosas, excepto cuando están latentes, es de esperarse que germinen rápida y uniformemente y emerjan bien en condiciones de campo, mientras que las de bajo vigor germinan en diferentes tiempos y presentan una baja emergencia en campo y por un periodo más largo (AOSA, 1983). De acuerdo a lo anterior, Coperland y McDonald (1995), mencionan que la prueba de velocidad de germinación da un buen criterio para medir el vigor de la semilla. En complemento, Sánchez *et al.* (1999) señalan que el vigor de las semillas es un factor determinante en la longevidad de estas durante el almacenamiento, a mayor vigor, mayor potencialidad de permanecer almacenados. De igual manera, en la prueba

de tasa de crecimiento de plántulas, las semillas vigorosas son capaces de hacer eficiente la síntesis de nuevos materiales y transferirlos rápidamente para la emergencia del eje embrionario lo que dará como resultado un incremento en la acumulación en peso seco (Coperland y McDonald, 1995). De acuerdo a Copeland y McDonald (1995), el peso seco es un estándar que se relaciona con los procesos bioquímicos que intervienen en el vigor, permite correlacionar la tasa de crecimiento con el desarrollo vegetativo en campo, lo que hace posible observar efectos de deterioro rápido, algunos períodos de almacenamiento y diferencias genéticas sobre el vigor.

Es importante señalar que, en algunas regiones de temporal, los agricultores que se dedican a la producción de semilla de maíz, cuando recogen su cosecha también la utilizan como grano, ya sea para consumo animal o consumo humano. De modo que, es importante realizar pruebas, y con ello determinar y conocer el uso final que se le dará al grano de maíz. Al respecto Cirilo *et al.* (2008), mencionan que la calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y el uso industrial. Muchas de las propiedades físicas del grano de maíz están relacionadas con su rendimiento, la calidad de sus productos y de sus derivados; por lo que estas propiedades confieren características específicas para cada variedad, y son determinadas por factores genéticos, condiciones de producción y el manejo post cosecha; así mismo, determinan el uso más adecuado dentro de la industria o la vida diaria, por ejemplo, la dureza del endospermo determina los tiempos de nixtamalización del grano (Vázquez *et*

al., 2003). El índice de flotación es una medida indirecta de la dureza, por lo que mediante los siguientes intervalos en sus valores, se puede estimar la dureza, así: maíces muy duros (0-12%), duros (13 – 37 %), intermedios (38 – 62 %), suaves (63 – 87 %) y muy suaves (> 87 %). Del mismo modo el tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización está directamente correlacionado con el Índice de dureza del grano de maíz (NMX-FF-034/1-SCFI-2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se realizaron cinco estudios en semilla de maíz: I) Caracterización física de la mazorca y semilla; II) Análisis de dureza del grano; III) Calidad fisiológica de semillas; IV) Prueba de vigor y emergencia; V) Asimilación de CO₂.

Material genético

Se utilizó semilla de maíz de la variedad JAGUAN (Rincón-Sánchez *et al.*, 2014), procedente de un lote de producción de semilla de la cosecha 2012 del ejido “El Mezquite”, Galeana, Nuevo León, el cual se ubica a los 24° 49’ de latitud norte y 100° 05’ de longitud oeste y a una altitud de 1890 msnm. La semilla se obtuvo de un lote de producción de semillas, donde se identificaron plantas prolíficas al azar (con dos mazorcas bien desarrolladas) y representan a familias de medios hermanos (FMH). Las familias fueron identificadas en surcos hembra (desespigados) y surcos macho (sin desespigamiento); a la cosecha se seleccionaron 10 FMH de surcos macho y 10 de surcos hembra. De esta manera, se compararon dos métodos de producción (PROD) definidos por las 10 FMH de surcos hembra y 10 surcos macho, y dos variantes de mazorcas de plantas prolíficas (MAZ) correspondientes a la primera y segunda mazorca, respectivamente. Todo esto generó un total de 40 materiales a ser sometidos a evaluación.

Los estudios de caracterización, calidad fisiológica y dureza del grano fueron llevados a cabo en laboratorio de Fisiología y Bioquímica del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila.

Estudio I. Caracterización física de la mazorca y semilla

La caracterización de mazorcas y de la semilla se hizo en base a los descriptores para maíz (CIMMYT-IBPGR, 1991). Se utilizaron los 40 materiales obtenidos de las 20 FMH seleccionadas en campo y se evaluaron las siguientes variables:

Peso de la mazorca: las mazorcas se pesaron de manera individual, el peso de la mazorca se reportó en gramos.

Número de hileras: se contó el número de hileras en la parte central de cada mazorca.

Semillas por hilera: se contó el número de semillas de una hilera bien definida en cada mazorca.

Longitud de la mazorca: la longitud de la mazorca se midió con una regla desde la base a la punta de cada mazorca, sin contar el pedúnculo, el resultado se reportó en centímetros.

Diámetro de la mazorca y olote: se midió con un vernier en la parte central de cada mazorca y olote, el resultado se reportó en centímetros.

Largo ancho y espesor de la semilla: se tomaron 2 repeticiones con 10 semillas del punto medio de cada mazorca de cada material y con la ayuda de una regla se midió el largo, ancho y espesor de la semilla los cuales fueron expresados en milímetros (mm).

Peso de 1000 semillas: se determinó cuando semilla tenía el 12 % de humedad; se usaron 2 repeticiones de 50 semillas de cada material, se pesaron en una balanza de precisión y el resultado obtenido se usó para estimar el peso de mil semillas el cual fue reportado en gramos (g).

Volumen: se usaron dos repeticiones de 50 semillas, posteriormente se sumergieron con cuidado en una probeta que contenía un volumen exacto de agua (V_o). Se leyó cuidadosamente el volumen final (V_f). El volumen de las semillas, correspondió a la diferencia y fue reportado en cm^3 .

$$V = V_f - V_o$$

Diseño experimental

Para analizar la información obtenida del estudio I se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2, considerando como factor P al sistema de producción (macho y hembra) y como factor M la posición de la mazorca en la planta (primera y segunda mazorca).

Modelo lineal del diseño experimental para el estudio de Caracterización de mazorcas y de la semilla:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + M_j + (PM)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta de la unidad experimental; μ = media general; P_i = Sistema de producción; M_j = Posición de la mazorca; $(PM)_{ij}$ = Sistema de producción x posición de la mazorca; ϵ_{ijk} = Error experimental

Estudio II. Análisis de dureza del grano

Índice de flotación. Para determinar el índice de flotación del grano se empleó una solución de nitrato de sodio (300 ml), a una densidad de 1.25 g ml⁻¹ (+/- 0.001), medida con un picnómetro. Se tomaron 100 granos limpios (libres de impurezas), los cuales fueron vertidos en la solución previamente preparada. Con un agitador de vidrio, se agitaron durante un minuto y posteriormente se dejó reposar para realizar el conteo de granos flotantes. El número de granos que ascendieron a la superficie se usó como el índice de flotación. La densidad de la solución fue revisada cada dos repeticiones.

La dureza del grano y el tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización están directamente correlacionados con los siguientes datos:

Cuadro 1. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de cocción.

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de cocción (minutos)
0-12	Muy Duros	45
13-37	Duros	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy Suaves	25

Fuente: NMX-FF-034/1-SCFI-2002

Diseño experimental

El diseño experimental del Estudio II fue el mismo que el de Estudio I.

Estudio III. Calidad fisiológica de semillas

Se llevaron a cabo ensayos de germinación y de vigor de acuerdo a lo establecido en las reglas del ISTA (2004) con algunas modificaciones.

Ensayo de germinación en laboratorio

Se realizó una prueba de germinación estándar “entre papel” (ISTA, 2004). Se sembraron tres repeticiones de 25 semillas de cada uno de los 40 materiales a evaluar. La siembra se hizo en papel Anchor previamente humedecido, posteriormente se enrollaron en forma de “tacos”; se acomodaron aleatoriamente cuatro tacos en bolsas transparentes de

polietileno y fueron colocados dentro de una canasta. Se utilizó una cámara germinadora Lab-line Instruments a una temperatura de 25° C y 80 % de humedad, en la cual fueron colocadas las canastas.

Variables evaluadas:

Vigor. Se realizó un primer conteo al cuarto día después de la siembra donde se contaron todas las plántulas normales (PN) para determinar el vigor. El resultado fue expresado en porcentaje de vigor

Germinación. Se contó el número de plántulas normales al final de la prueba (séptimo día). El resultado se reportó como porcentaje de germinación.

Plántulas anormales. Se contó el número de plántulas que presentaron alguna malformación o ausencia en cualquiera de sus estructuras al final de la prueba. El resultado se reportó en porcentaje de plántulas anormales.

Semilla sin germinar. Se contó el número de semillas que al final de la prueba no presentaron germinación alguna. El resultado se reportó en porcentaje de semillas sin germinar.

Longitud de la plúmula y de la radícula: se midieron las variables longitud de la plúmula (LP) y de la radícula (LR) en las plántulas normales obtenidas en el ensayo de germinación, estos datos fueron reportados en

centímetros (cm). Esta prueba se hizo con el propósito de evaluar el vigor de las semillas.

Peso seco de plántulas: se determinó el peso seco de plántulas (PS), para ello tomaron todas las plántulas normales, posteriormente fueron colocadas en bolsas de papel perforado y se sometieron a secado en una estufa Lab-Line modelo 3478M a una temperatura de 70 °C, durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se colocaron las bolsas en un desecador durante 20 minutos, posteriormente se pesaron las plántulas en una balanza analítica. El peso seco fue reportado en miligramos por plántula (mg/plántula).

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones de cada material. La siembra del experimento fue realizada en dos grupos y se empleó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + r_{j(i)} + P_k + M_j + PM_{kl} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Respuesta de la unidad experimental; μ = media general; G_i = Grupo; $r_{j(i)}$ = repetición dentro de grupo; P_k = Sistema de producción; M_j = Posición de la mazorca; PM_{kl} = Sistema de producción x posición de la mazorca; ϵ_{ijkl} = Error experimental

Estudio IV. Prueba de vigor y emergencia

El estudio IV se realizó en el invernadero #2 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en la Sede Saltillo, Coahuila.

Procedimiento:

Se preparó una cama de 1 m de ancho por 5 m de largo con arena de río tratada con fungicida Tecto® 60, para evitar el daño por hongos. Posteriormente se sembraron dos repeticiones de 25 semillas de cada uno de los 40 materiales, a una profundidad de 2 cm y a una distancia de 2.5 cm una semilla de otra. El experimento se realizó en 2 Grupos (GPOS), los cuales corresponden a 2 fechas de siembra diferentes. Cada grupo se evaluó durante 10 días.

Se evaluaron las siguientes variables:

Índice de velocidad de emergencia (IVE): Se obtuvo por medio del conteo diario de las plántulas emergidas a partir de la siembra, tomando en cuenta como emergidas todas aquellas que sobresalieran del sustrato, posteriormente se calculó el IVE mediante la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

En donde:

IVE= Índice de velocidad de emergencia; X_i = Número de plántulas emergidas por día; N_i = Número de días después de la siembra; n = Número de conteos 1,2..., n conteos.

Emergencia total (%ET): Para medir el porcentaje de emergencia total se tomaron en cuenta el número de plántulas totales emergidas, hasta el último día de conteo, mediante la siguiente fórmula:

$$\% ET = \frac{\text{Plántulas emergidas en el último conteo}}{\text{número de semillas sembradas en la repetición}} * 100$$

Peso seco de plántulas: Las plántulas emergidas fueron limpiadas del exceso de tierra. Posteriormente se colocaron en bolsas de papel perforado, previamente identificado. Y se sometieron a secado en una estufa Lab-Line modelo 3478M a una temperatura de 70 °C, durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, las bolsas se colocaron en un desecador durante 20 minutos para llegar a peso constante, posteriormente se sustrajeron las plántulas de cada bolsa y se tomó el peso en una balanza analítica, el cuál fue reportado en miligramos (mg) por plántula.

Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques incompletos dentro de grupos. Se usaron 2 grupos con 10 familias cada uno (10x2), cada grupo correspondió a una fecha de siembra diferente. Se empleó el siguiente modelo:

Modelo lineal del diseño experimental para Invernadero:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + r_{j(i)} + b_{(ij)} + P_k + M_l + PM_{kl} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta de la unidad experimental; μ = media general; G_i = Grupo; $r_{j(i)}$ = repetición; $b_{(ij)}$ = bloque; P_i = Sistema de producción; M_j = Posición de la mazorca; PM_{ij} = Sistema de producción x posición de la mazorca; ϵ_{ij} = Error experimental

Estudio V. Asimilación de CO₂

Para determinar la asimilación de CO₂ (A), se utilizó un equipo portátil LI-COR 6400 (LI-6400), que usa los principios de intercambio de gas para medir parámetros relacionados con la fotosíntesis. El equipo fue calibrado, con el tubo de la soda en posición “full scrub” y el tubo del desecante en “full bypass”. Se estableció una concentración de CO₂ de 400 ppm en la atmósfera. La lectura fue tomada una vez que el valor permaneció constante en la pantalla en un lapso de cinco segundos. Se realizó medición en campo en dos fechas: antes de floración (11 Julio del 2013) y después de floración

(31 de julio del 2013) de cada material. Se evaluaron 40 materiales de una repetición en campo y de cada material se midieron tres plantas. La fecha de siembra de los materiales en campo se realizó el 9 de abril del 2013.

Las variables que se determinaron fueron las siguientes: Asimilación de CO_2 (A) medida en $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; conductancia estomática (g_s), medida en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. concentración de CO_2 intercelular (C_i), medida en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; transpiración (Tr), medida en $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; temperatura de la hoja (T_{leaf}), medida en $^{\circ}\text{C}$ y radiación fotosintéticamente activa (PAR_i), medida en $\mu\text{mol de luz m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Diseño experimental

En la evaluación en campo se utilizó un diseño Completamente al Azar, con arreglo factorial 2X2, considerando como factor P al sistema de producción (macho y hembra) y como factor M la posición de la mazorca en la planta (primera y segunda mazorca).

Análisis estadístico

Para analizar la información se realizaron análisis de varianza (ANOVA) en cada estudio. El análisis de la información se corrió en el programa SAS Institute (2002) versión 9.0. La comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio I. Caracterización física de la mazorca y semilla

Caracterización de las mazorcas

En el Cuadro 2 se reportan los cuadrados medios del análisis de varianza para la caracterización de las mazorcas de las familias evaluadas. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en las variables peso de la mazorca (PMAZ), semillas por hilera (SHIL) y longitud de la mazorca (LMAZ) para la fuente de variación número de mazorca (MAZ). En los sistemas de producción se presentaron diferencias en los componentes de la mazorca. Por lo tanto el número de mazorca (primera o segunda) es la fuente de variación más importante. Se presentan diferencias estadísticas, debido a que la primera mazorca se desarrolla antes en la planta, y por competencia es la más grande por lo que sus componentes de rendimiento son mejores. Estos resultados concuerdan con los reportados por Espinosa *et al.* (2004), quienes encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en variables longitud de la mazorca y granos por hilera al evaluar rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones prolíficas de maíz.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracterización de las mazorcas de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.

F.V	G.L	PMAZ (g)	HIL (#)	SHIL (#)	LMAZ (cm)	DOLO (mm)	DMAZ (cm)
PROD	1	108.9 NS	4.90 NS	11.03 NS	0.16 NS	4.54 NS	0.17 NS
MAZ	1	15602.5^{xx}	0.10 NS	378.23^{xx}	75.90^{xx}	5.10 NS	13.32 NS
PROD xMAZ	1	640.0 NS	0.10 NS	0.63 NS	1.89 NS	3.15 NS	12.97 NS
Error	3 6	407.4	3.94	12.18	2.96	5.67	10.05 NS
Total	3 9	16758.9	9.04	402.06	80.91	18.46	36.51
C.V%		16.1	13.56	11.59	12.25	9.99	7.25

^x, ^{xx}= Niveles de significancia al 0.05, 0.01 respectivamente; NS = No significativo; F.V=Fuente de Variación; G.L = Grados de libertad; PMAZ= Peso de mazorca; HIL=Número de hileras; SHIL= Semillas por hilera; LMAZ= Longitud de la mazorca; DOLO= Diámetro de olote; DMAZ=Diámetro de la mazorca; PROD= Método de producción; MAZ=Mazorcas.

En la comparación de medias para caracterización de mazorcas (Cuadro 3), en la prolificidad o número de mazorcas, se reportan diferencias estadísticas entre la primera y la segunda mazorca y se obtuvieron los valores más altos en la primera mazorca para las variables: peso de la mazorca (145.35 g), semillas por hilera (33.2) y longitud de la mazorca (15.43 cm). Esto puede ser atribuido a que en la primera mazorca en etapa de llenado de semilla los nutrientes van de la parte aérea hacia bajo de la planta y por competencia, la primera mazorca tiene disponibles estos nutrientes en una cantidad mayor que la segunda mazorca, lo cual se ve reflejado en las características de la mazorca.

En este sentido, Espinosa *et al.* (2004) reportaron incrementos en la longitud de la mazorca, al evaluar 3 poblaciones prolíficas de maíz con mazorca primaria y secundaria, en 2 ciclos de selección; los valores de la longitud de la mazorca fueron más altos en mazorca primaria (14.2 cm

población original, 13.7 cm Ciclo 1 y 14.1 cm Ciclo 2) que en la mazorca secundaria (12.1 cm población original, 11.2 cm Ciclo 1 y 11.7 cm Ciclo 2).

Cuadro 3. Comparación de medias para caracterización de mazorcas de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.

FV	PMAZ	HIL	SHIL	LMAZ	DMAZ	DOLO	DMAZ
	(g)	(#)	(#)	(cm)	(mm)	(mm)	(mm)
Método de producción							
H	127.25	15.00	30.65	13.99	43.78	23.50	44.78
M	123.95	14.30	29.60	14.12	43.65	24.17	43.64
Media	125.60	14.65	30.13	14.05	43.71	23.84	43.71
Tukey	12.95	1.27	2.24	1.10	2.03	1.53	2.03
Mazorcas							
M1	145.35 a	14.60	33.20 a	15.43 a	44.29	24.19	44.29
M2	105.85 b	14.70	27.05 b	12.68 b	43.14	23.48	43.14
Media	125.60	14.65	30.13	14.05	43.71	23.84	43.71
Tukey	12.95	1.27	2.24	1.10	2.03	1.53	2.03

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey α 0.05 %). F.V=Fuente de Variación; PMAZ= Peso de mazorca; HIL=Número de hileras; SHIL= Semillas por hilera; LMAZ= Longitud de la mazorca; DOLO= Diámetro de olote ;DMAZ=Diámetro de la mazorca;; H= Sistema de producción Hembra; M=Sistema de producción Macho; M1= Primera mazorca; M2= Segunda Mazorca.

Caracterización de la semilla

En el análisis de varianza para atributos físicos de la semilla (Cuadro 4), se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para las variables largo de semilla y $P \leq 0.05$ para peso de mil semillas (PMS), en la fuente de variación número de mazorca (MAZ). Espinosa *et al.* (2004) reportan diferencias en el peso de cien granos al evaluar poblaciones prolíficas de maíz en dos densidades de siembra. En general, el Cuadro 4 indica que la posición de la mazorca (primera o segunda) influye de manera significativa en la variables largo y peso de mil semillas, lo cual tiene sentido, ya que los periodos de

llenado de grano varían, y hay mayor posibilidad de desarrollar semillas más pesadas y largas en la primera mazorca.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para atributos físicos en semilla de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.

F.V	G.L	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	PMS (g)	VOL (cm ³)
PROD	1	0.008 NS	1.10 NS	0.012 NS	324.8 NS	5.51 NS
MAZ	1	7.200^{xx}	1.06 NS	0.018 NS	14023.8^x	9.11 NS
PROD ^x MAZ	1	1.568 NS	0.04 NS	0.098 NS	2311.3 NS	3.61 NS
Error	76	0.791	0.33	0.103	2256.2	3.84
Total	79	9.567	2.53	0.231	18916.0	22.07
C.V%		7.864	7.83	7.495	17.6	18.00

F.V=Fuente de Variación; ^x, ^{xx} Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 respectivamente; NS=No significativo; G.L = Grados de libertad; PMS= Peso de mil semillas; VOL=Volumen de la semilla; PROD= Método de producción; MAZ=Mazorcas.

La comparación de medias para atributos físicos (Cuadro 5) indica que, la semilla que proviene de la primera mazorca tiene mayor largo (11.62 mm) y peso de mil semillas (283.52 g), que la que proviene de la segunda mazorca. Lo anterior es importante, ya que permite determinar que la primer mazorca es el principal sumidero de fotoasimilados (compuestos sintetizados por las plantas a partir de CO₂ y de energía solar). Estos compuestos son sintetizados principalmente en las hojas y transportados a través del floema, hasta la mazorca en desarrollo.

Cuadro 5. Comparación de medias para atributos físicos en semilla de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.

FV	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	PMS (g)	VOL (cm ³)
Método de Producción					
H	11.33	7.25	4.28	268.27	10.63
M	11.31	7.49	4.31	272.30	11.15
Media	11.32	7.37	4.29	270.28	10.89
Tukey	0.40	0.26	0.14	21.15	0.87
Mazorcas					
M1	11.62 a	7.49	4.31	283.52 a	11.23
M2	11.02 b	7.26	4.28	257.04 b	10.55
Media	11.32	7.37	4.29	270.28	10.89
Tukey	0.40	0.26	0.14	21.15	0.87

F.V.=Fuente de Variación; Vol=Volumen de la semilla; PMS= Peso de mil semillas. H= Sistema de producción Hembra; M=Sistema de producción Macho; M1= Primera mazorca; M2= Segunda Mazorca. Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey α 0.05 %).

Estudio II. Análisis de volumen y dureza de grano

De acuerdo al índice de flotación (IF) se obtuvieron valores en un rango de 0% a 68% (Cuadro A.1). Sin embargo no se presentaron diferencias, entre las familias evaluadas (Figura 1). La dureza de endospermo se clasificó de muy duro a suave, con tiempos de cocción de 45 a 30 minutos, respectivamente (Cuadro 6). En los genotipos evaluados predominan los granos muy duros, con tiempos de cocción de 45 minutos. Granos suaves sólo se presentaron en una fracción del 10% en la semilla que provino de planta macho y de la segunda mazorca (Cuadro 6). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Ochoa *et al.* (2009), quienes evaluaron 10 variedades de maíz, y encontraron que entre variedades no hubo diferencias significativas en cuanto a dureza de los granos, además de que todas las variedades presentaron maíz duro.

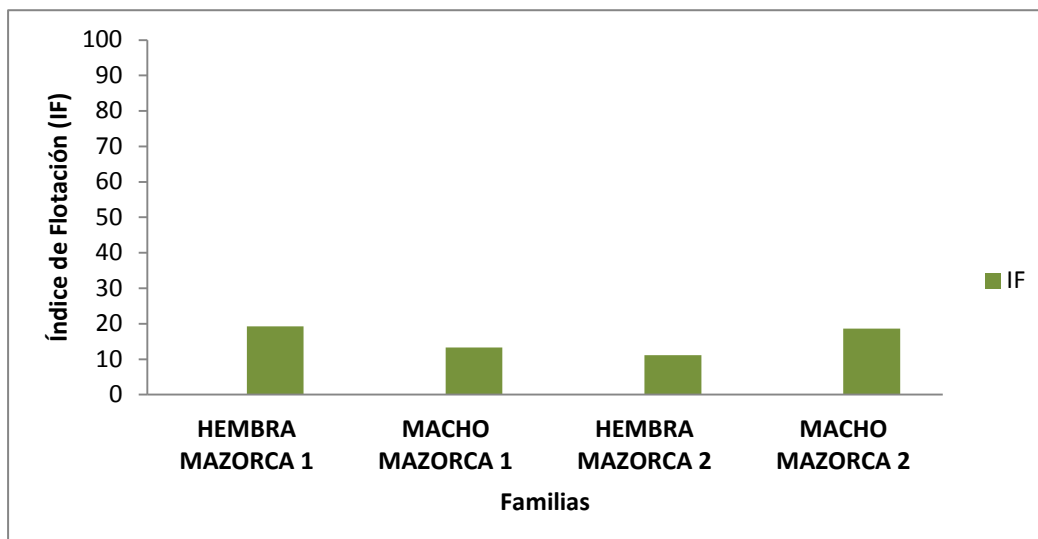


Figura 1. Promedios del índice de flotación de familias de plantas prolíficas en dos sistemas de producción.

En los granos de maíz, el endospermo representa entre 83-85 % del peso total del grano y la dureza del grano depende particularmente de esta estructura. La dureza o suavidad está relacionada con las áreas cristalina y harinosa en el endospermo, a mayor porcentaje de endospermo harinoso se tendrán granos más suaves, poco endospermo harinoso corresponde a granos más duros.

Mediante el índice de flotación se puede conocer también la microestructura de los granos, es decir, su grado de compactación, tipo de almidón, grosor del pericarpio, etc. Los granos con alto grado de compactación tienen gránulos de almidón pequeño en forma definida (hexagonal) y son aptos para la elaboración de palomitas. Granos con bajo grado de compactación y pericarpio delgado poseen gránulos de almidón grandes y en forma esférica y son aptos para elaborar botanas, harinas, tortillas, pozoles y atoles. Así pues con base a los resultados, se tiene que,

la mayor parte de los granos evaluados en este estudio, presentaron endospermos muy duros y duros, por lo que pueden ser destinados principalmente para la elaboración de tortillas.

Cuadro 6. Dureza del endospermo y tiempos de cocción de grano de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.

Producción	Posición de la mazorca	Dureza del endospermo			
		Muy duros	Duros	Intermedios	Suaves
		%	%	%	%
HEMBRA	1	60	10	30	0
HEMBRA	2	60	30	10	0
MACHO	1	60	30	10	0
MACHO	2	60	30	0	10
Tiempos de cocción		45 min	40 min	35 min	30 min

Estudio III. Calidad fisiológica de semillas

Ensayo de germinación en laboratorio

El Cuadro 7 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza del ensayo de germinación en laboratorio. En la fuente de variación sistema de producción (PROD) se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables vigor, semillas sin germinar y longitud de radícula; así como diferencias ($P \leq 0.01$) en la variable longitud de plúmula. En la fuente de variación mazorca (MAZ), se presentaron también diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la variable peso seco de plántula. La interacción producción x mazorca mostró diferencia significativa ($P \leq 0.01$) en la variable longitud de radícula. En estudios realizados por Sánchez (2009), se encontraron diferencias significativas en la calidad fisiológica al evaluar poblaciones criollas de maíz bajo dos sistemas de producción.

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para ensayo de germinación en semilla de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.

F.V	G.L	Vigor %	Germ %	PA %	SSG %	PS (mg/plántula)	GL	LP (cm)	LR (cm)
GPO	1	2928.2 ^{xx}	226.69 ^{xx}	222.22 ^{xx}	0.02 NS	573.77 ^{xx}	1	3814.62 ^{xx}	243.67 ^{xx}
REP(GPO)	4	283.5 NS	11.61 NS	8.28 NS	3.44 NS	3.38 NS	4	127.82 ^{xx}	297.20 ^{xx}
PROD	1	874.8 ^{xx}	70.53 NS	26.13 NS	10.80 ^x	0.91 NS	1	153.01 ^{xx}	34.25 ^x
MAZ	1	145.2 NS	22.53 NS	26.13 NS	0.13 NS	1124.46 ^{xx}	1	6.16 NS	3.50 NS
PROD ^x MAZ	1	182.5 NS	16.13 NS	19.20 NS	0.13 NS	222.80 NS	1	1.88 NS	304.64 ^{xx}
Error	111	141.8	19.13	14.74	2.74	70.06	2890	8.51	8.53
Total	119	4556.1	366.61	316.70	17.28	1995.38	2898	4112.00	891.78
C.V%		14.0	4.53	143.96	216.07	11.46		21.68	14.45

^x, ^{xx} = Niveles de significancia al 0.05, 0.01 respectivamente; NS = No significativo; GL = Grados de libertad; Vigor = Plántulas normales al primer conteo; Germ = Plántulas normales al segundo conteo; PA = Plántulas anormales; SSG = Semillas sin germinar; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; PS = Peso seco de plántula; GPO= Grupo; PROD= Método de producción; MAZ=Mazorcas.

En el análisis de la comparación de medias del ensayo de germinación en laboratorio (Cuadro 8), en la variable vigor en la semilla procedente de las plantas hembra se obtuvo un valor de 88.07%, las cuales superaron a la que proviene de plantas macho que obtuvieron un valor de 82.67% para esta variable. Por otra parte, se mostraron diferencias en las variables longitud de plúmula y de radícula, siendo las familias que provienen de plantas hembra las que presentaron los valores más altos. Los resultados también indican mayor peso seco en la primera mazorca con un valor de 76.11 mg plántula⁻¹. Se observó que la semilla procedente de la primera mazorca de plantas hembra, es más vigorosa, al generar plántulas con mayor peso seco y longitud de plúmula. La principal diferencia entre plantas hembra y plantas macho es que en las plantas hembra se elimina la autofecundación y hay reducción en los índices de depresión endogámica, lo cual no ocurre en plantas macho o de polinización libre, que son afectadas por la depresión endogámica y a su vez se refleja en menor vigor de la semilla de la descendencia (Machi *et al.* 2010).

Cuadro 8. Comparación de medias de ensayo de germinación en semilla de familias de plantas prolíficas en diferentes sistemas de producción.

Tratamiento	Vigor	Germinación	PA	SSG	LP	LR	PS
	%	%	%	%	(cm)	(cm)	mg/ plántula
Método de producción							
H	88.07^a	97.33	2.20	0.47	13.69^a	20.31^a	73.13
M	82.67^b	95.80	3.13	1.07 a	20.09^b	72.96	13.23 b
Media	85.37	96.57	2.67	0.60	13.46	20.21	3.04
Tukey	4.31	1.58	1.39	0.77	0.21	0.21	3.03
Mazorcas							
M1	86.47	97.00	2.20	0.80	13.51	20.17	76.11 a
M2	84.27	96.13	3.13	0.73	13.41	20.24	69.98 b
Media	85.37	96.57	2.67	0.60	13.46	20.21	73.04
Tukey	4.31	1.58	1.39	0.77	0.21	0.21	3.03

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey α 0.05 %). Vigor=plántulas normales al primer conteo; Germinación=plántulas normales al segundo conteo; PA = Plántulas anormales; SSG = Semillas sin germinar; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; PS = Peso seco de plántula; H= Sistema de producción Hembra; M=Sistema de producción Macho; M1= Primera mazorca; M2= Segunda Mazorca.

Estudio IV. Prueba de vigor y emergencia

El Cuadro 9 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza de los estudios de índice de velocidad de emergencia y emergencia total en invernadero, donde se reportan diferencias ($P \leq 0.05$) en la variable emergencia total (ET) en la fuente de variación sistema de producción (PROD). Por otra parte en el peso seco de plántula se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la fuente de número de mazorca (MAZ). Los resultados indican que el IVE, no es afectado por el carácter de prolificidad ni por el sistema de producción de la planta de la cual se obtuvo la semilla. Por el contrario, el sistema de producción de las plantas progenitoras (hembra o macho), si modifica la emergencia total de las plántulas derivadas de la semilla producida, lo cual se puede deber a que al

desespigar las plantas se incrementan la tasa de asimilación de CO₂ (Ruiz *et al.*, 2013) y se evita el envío de fotoasimilados a la espiga lo cual fortalece el envío dirigido al llenado de la mazorca, generando así semillas con mayor vigor.

La velocidad de emergencia y el peso seco de plántula son variables que se relacionan con el vigor de la semilla y su rendimiento en campo. En un estudio realizado por Pérez *et al.* (2007) en 28 poblaciones de maíz de la raza Chalqueño se encontró que las variables mejor correlacionadas con el vigor de la semilla fueron velocidad de emergencia, longitud y peso seco de mesocótilo y, con el rendimiento de grano, el peso de 100 semillas.

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para pruebas fisiológicas en invernadero de la semilla de familias de plantas prolíficas de diferentes sistemas de producción.

F.V	G.L	IVE	ET %	PS (mg/plántula)
GPO	1	0.207 NS	211.60 ^{xx}	195.87 NS
REP(GPO)	2	2.946 ^{xx}	215.20 ^{xx}	1657.94 ^{xx}
PROD	1	0.364 NS	90.00 ^x	23.97 NS
MAZ	1	0.164 NS	32.40 NS	1922.94 ^{xx}
PROD*MAZ	1	0.003 NS	0.40 NS	28.11 NS
Error	153	0.145	14.45	79.69
Total	159	3.829	564.05	3908.50
C.V%		7.322	3.88	13.42

^x, ^{xx} = Niveles de significancia al 0.05, 0.01 respectivamente; NS = No significativo; GL = Grados de libertad; IVE= Índice de velocidad de emergencia; ET= Emergencia total; PS = Peso seco de plántula; GPO= Grupo; PROD= Método de producción; MAZ=Mazorcas.

En el Cuadro 10 se muestra la comparación de medias del estudio en invernadero. Se presentó emergencia total del 98.8% en plántulas de semilla de familias de plantas hembra fue estadísticamente diferente a la ET de semilla de plantas macho (97.3%). También se indica que para la semilla que provino de la primera mazorca se obtuvo un valor de 70 mg plántula⁻¹, siendo estadísticamente superior a las plántulas que procedían de semilla de la segunda mazorca, que obtuvieron un valor de 63.07 mg plántula⁻¹. En un estudio realizado por Ruíz *et al.* (2012), evaluaron la calidad fisiológica de la semilla de dos poblaciones de maíz criollo mejorado y encontraron diferencia estadística en peso seco entre poblaciones; la población con mayor peso seco obtuvo 74.94 mg plántula⁻¹, y la de menor peso seco 60.65 mg plántula⁻¹.

El vigor es una característica genética de la planta expresada a nivel de semilla, que puede ser afectada por factores externos como daños mecánicos ocasionados durante la cosecha, el procesamiento y el almacenamiento, o por factores internos como la mala nutrición de la planta madre, o la endogamia que se produce por autopolinización en plantas macho o de polinización libre. Los efectos deletéreos se manifiestan a nivel de germinación y disminución de la velocidad de crecimiento de las plántulas las cuales muchas veces carecen de vigor. Mediante las pruebas de velocidad de emergencia y emergencia total se obtienen estimadores de vigor de las plántulas a ser utilizadas en los programas de mejoramiento genético. En este estudio se ha demostrado que la semilla que proviene de plántulas hembra y de la primera mazorca genera plántulas con mejor vigor,

las cuales poseen características aceptables en cuanto a la emergencia total y el peso seco.

Cuadro 10. Comparación de medias para pruebas fisiológicas en invernadero de la semilla de familias de plantas prolíficas procedentes de diferentes sistemas de producción.

Tratamiento	IVE	ET %	PS mg/plántula
<u>Método de producción</u>			
H	5.25 a	98.8 a	66.92 a
M	5.15 a	97.3 b	66.15 a
Media	5.20	98.1	66.53
Tukey	0.12	1.2	2.79
<u>Mazorcas</u>			
M1	5.23 a	97.6 a	70.00 a
M2	5.17 a	98.5 a	63.07 b
Media	5.20	98.1	66.53
Tukey	0.12	1.2	2.79

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey α 0.05 %). IVE= Índice de velocidad de emergencia; ET= Emergencia total; PS = Peso seco de plántula; H= Método de producción Hembra; M= Método de producción Macho; M1= Primera mazorca; M2= Segunda Mazorca.

Estudio V. Asimilación de CO₂

En el Cuadro 11 se indican los cuadrados medios del análisis de varianza para el estudio de asimilación de CO₂ en plantas de maíz en campo. En este estudio se reportan diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la fuente de variación mazorcas, para las variables temperatura de la hoja (T_{leaf}) y radiación fotosintéticamente activa (PAR_i), que en realidad son esperadas, debido a que las condiciones del ambiente varían durante la toma de datos en el campo, reflejándose en diferencias en la temperatura y en la intensidad de la luz recibida por las plantas. Un estudio que refleja el

efecto de la temperatura en la tasa de asimilación de CO₂, es el realizado por Mosquera *et al.* (2005) quienes determinaron la fotosíntesis neta en maíz a tres temperaturas y encontraron valores de 5.3 μmol (CO₂) m⁻²s⁻¹ para la temperatura de 15 °C, 18.6 μmol (CO₂) m⁻²s⁻¹ para la temperatura de 25°C y 23.5 μmol (CO₂) m⁻²s⁻¹ para la temperatura de 35°C.

Por otra parte, el Cuadro 12 muestra la comparación de medias del estudio de asimilación de CO₂, donde se indican las diferencias estadísticas en la fuente de variación mazorca para la variable temperatura de la hoja (T_{leaf}) se tiene un valor de 33.2 °C para la primera mazorca y de 32.8 °C para la segunda mazorca. Así mismo se encontraron diferencias estadísticas en la radiación fotosintéticamente activa (PARi) con valores de 1703.84 μmol de luz m⁻² s⁻¹ para la primera mazorca y para la segunda 1661.69 μmol de luz m⁻² s⁻¹. A pesar de estas diferencias en temperatura (hoja) y en la radiación fotosintéticamente activa, no se presentaron diferencias significativas en la tasa de asimilación de CO₂, y variables asociadas con el metabolismo de la planta, como es el CO₂ intercelular (C_i). Se observó una tasa de asimilación de CO₂ de 45.675 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹, lo cual se considera óptimo para plantas de maíz cultivadas en campo, además se observó un C_i bajo, en un rango de 101.419 a 93.694 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, lo cual indica una alta eficiencia de las células del mesófilo en la fijación de CO₂, considerando además una apertura estomática que permitió un adecuado suministro de CO₂. Sin embargo, la tasa de transpiración se mantuvo alta 14.482 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, lo cual indica que las plantas estuvieron perdiendo agua en forma de vapor. Una mayor apertura de los

estomas facilita la entrada de CO₂. Sin embargo favorece la pérdida de agua, con los consecuentes riesgos de deshidratación, generando un estrés hídrico. Al momento de la medición, la temperatura del ambiente se mantuvo alta (34.3 °C) y había poca humedad relativa (28.1%).

En otro estudio, Leakey *et al.* (2006) sometieron plantas de maíz a ambientes controlados a [CO₂] (370 μmol mol⁻¹) y [CO₂] (550 μmol mol⁻¹) y encontraron que elevada concentración de CO₂ atmosférico (550 μmol mol⁻¹) no afectó la fotosíntesis, productividad y rendimiento del maíz. Los citados autores obtuvieron tasas de asimilación (A) de 14.3 a 42.4 μmol m⁻² s⁻¹ para concentración de [CO₂] 370 μmol mol⁻¹ y para la concentración de [CO₂] 550 μmol mol⁻¹ encontraron tasas de asimilación (A) en un rango de 15 a 42.9 μmol m⁻² s⁻¹.

Por su parte Ruíz *et al.* (2013) estudiaron los sistemas de producción y asimilación de CO₂ en una variedad de maíz criollo mejorado y encontraron diferencias (P ≤ 0.01), en las variables tasa de asimilación neta de CO₂, conductancia estomática, concentración de CO₂ intercelular en la fuente de variación producción. Para la tasa de asimilación neta en los sistemas de producción machos vs hembras en la comparación de medias reportan diferencias y valores de 41.70 μmolCO₂ m⁻²s⁻¹ para plantas hembra y 38.77 μmolCO₂ m⁻²s⁻¹ para las plantas macho, en conductancia estomática 0.440 mol H₂O m⁻² s⁻¹ en las plantas hembra y en las plantas macho 0.404 mol H₂O m⁻²s⁻¹, así mismo, en la concentración de CO₂ intracelular 144.65 μmolCO₂ mol⁻¹ y 135.56 μmolCO₂ mol⁻¹ en plantas macho. En este estudio se encontró que ni la prolificidad ni el modo de producción de la semilla, tuvo

un efecto en la tasa de asimilación de CO₂, conductancia estomática y concentración de CO₂ intercelular en plantas derivadas de las mismas. Lo cual resulta importante, ya que con el desespigue de las plantas progenitoras no se modifica la expresión de caracteres fisiológicos contenidos en la semilla de la descendencia. Así mismo, la semilla de la primera y la segunda mazorca, contiene la información genética necesaria para que las plantas obtenidas desarrollen sistemas fotosintéticos que asimilen CO₂ en la misma proporción.

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza del estudio de asimilación de CO₂ de familias de plantas prolíficas de diferentes sistemas de producción.

<i>F.V</i>	<i>G.L</i>	<i>A</i> $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	<i>g_s</i> $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	<i>C_i</i> $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	<i>Tr</i> $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	<i>T_{leaf}</i> °C	<i>PAR_i</i> $\mu\text{mol de luz m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
PROD	1	11.03 NS	0.015 NS	659.56 NS	9.92 NS	0.05 NS	78.81 NS
MAZ	1	21.73 NS	0.001 NS	2199.21 NS	3.01 NS	4.06 ^x	51371.53 ^x
PROD ^x MAZ	1	3.92 NS	0.001 NS	55.96 NS	0.45 NS	1.34 NS	300.64 NS
Error	110	66.54	0.012	1623.94	6.35	0.88	11398.80
Total	113	103.22	0.029	4538.67	19.73	6.33	63149.78
C.V%		17.85	29.442	41.45	17.40	2.85	6.34

^{xx}, ^x = Niveles de significancia al 0.05, 0.01 respectivamente; NS = No significativo; F.V=Fuente de Variación; G.L = Grados de libertad; A=Asimilación de CO₂; g_s= Conductancia estomática; C_i= CO₂ intracelular; Tr=Transpiración; T_{leaf}=Temperatura de la hoja; PAR_i= Radiación fotosintéticamente activa; PROD= Método de producción; MAZ=Mazorcas.

Cuadro 12. Comparación de medias para estudio de asimilación de CO₂ de familias de plantas prolíficas de diferentes sistemas de producción.

<i>F.V</i>	<i>A</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>Tr</i>	<i>T_{leaf}</i>	<i>PAR_i</i>
	$\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$^{\circ}\text{C}$	$\mu\text{mol de luz m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
<u>Método de producción</u>						
H	45.369	0.364	94.770	14.182	33.1	1683.8
M	45.981	0.386	99.581	14.772	33.0	1685.4
Media	45.675	0.375	97.217	14.482	33.0	1684.6
Tukey	3.028	0.041	14.962	0.935	0.4	39.6
<u>Mazorcas</u>						
M1	46.123	0.374	93.694	14.680	33.2 a	1703.8 a
M2	45.142	0.376	101.419	14.246	32.8 b	1661.7 b
Media	45.675	0.375	97.217	14.482	33.0	1684.6
Tukey	3.039	0.041	15.017	0.939	0.4	39.8

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey α 0.05 %). F.V=Fuente de Variación; A=Asimilación de CO₂; g_s= Conductancia estomática; C_i= CO₂ intracelular; Tr=Transpiración; T_{leaf}=Temperatura de la hoja; PAR_i= Radiación fotosintéticamente activa; H= Método de producción Hembra; M=Método de producción Macho; M1= Primera mazorca; M2= Segunda Mazorca.

V. CONCLUSIONES

El carácter de prolificidad tiene efecto sobre el desarrollo y llenado de las mazorcas, se observó valores más altos en la primera mazorca para las variables peso de la mazorca, granos por hilera y longitud de la mazorca.

Las semillas más largas y más pesadas se obtuvieron de la primera mazorca. El ancho, el espesor y el volumen de la semilla no fueron afectados por la prolificidad de la planta ni por el sistema de producción (Macho vs Hembra).

La prolificidad y el sistema de producción son factores que no tuvieron influencia sobre la dureza del endospermo del grano. Sin embargo, el conocimiento de los índices de flotación, dureza del endospermo y tiempos de cocción pueden ser útiles para el mejorador y tomarlos como una medida de selección de acuerdo al uso que se le dará al grano como puede ser la elaboración de alimentos tales como tortillas, totopos, atoles, etc.

La semilla de la primera mazorca de plantas hembras (desespigadas) presenta mayor vigor y peso seco de plántula, en el ensayo estándar de germinación.

En invernadero, mayor porcentaje de emergencia total de plántulas se obtiene de semilla derivada de plantas desespigadas. También se obtiene mayor peso seco de plántula de la semilla de la primera mazorca.

Las plantas que provienen de semilla de diferentes sistemas de producción y de plantas prolíficas, tienen buena capacidad fotosintética. Sin embargo, no presentan diferencias significativas para las variables asociadas con la asimilación de CO₂. Lo anterior indica que el mesófilo de las hojas tiene la misma capacidad de fijar el CO₂, sin modificar la conductancia estomática y los niveles de CO₂ intercelular. En la actualidad y en un futuro este cultivo será una buena alternativa para mitigar los efectos del cambio climático.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguirre M., V.J., F. Rincón S., R. Ramírez S., O.G. Colón A., y M.G. Razo M. 2011. Modelo para la Conservación de Maíces Criollos en el Sureste de Coahuila. UAAAN-COLPOS-SINAREFI. México. 54 p.
- Antonio M., M., J.L. Arellano V., G. García, S. Miranda C., J.A. Mejía C., y F.V. González C. 2004. Variedades Criollas de Maíz Azul Raza Chalqueño. Características Agronómicas y Calidad de Semilla. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27 (1): 9-15.
- Aragón-Cuevas, F., S. Taba, J.H. Hernández Casillas, J. D. Figueroa, V. Serrano Altamirano, y F.H. Castro García. 2006. Catálogo de Maíces Criollos de Oaxaca. INIFAP- SAGARPA: Oaxaca, México. 344 p.
- AOSA. 1983. Seed vigor testing handbook. Contribution No. 32. Association of Official Seed Analysts.U.S.A. 82 p.
- Biasutti, C. A., D. A. Peiretti, M.C. Nazar y G.A Alemanno. 2004. Respuesta a la selección masal por prolificidad en maíz en diferentes ambientes. AGRISCIENTIA. 21 (2): 45-50.
- Briones, D. 2007. Resistencia a la pudrición de mazorca en poblaciones de maíz bajo mejoramiento participativo en el Altiplano de México. Tesis de Maestría en Ciencias, especialidad en Genética. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo.de México 77 p.
- Bustamante, J. 2010. Calidad física y fisiológica en semillas de híbridos de maíz de los valles altos de México y su relación con el establecimiento en campo. Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 97 p.

- Carballo C., A., y A. Hernández G. 2013. Selección y manejo de maíces criollos. Ficha Técnica. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 9 p.
- Cirilo , A.G., A. Masagué, W. Tanaka, y A.M. Di Martino. 2008. Maíz colorado duro: el manejo del cultivo y la calidad comercial. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Buenos Aires, Argentina. 8 p.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 1995. Principles of Seed Science and Technology. -3rd ed. Kluwer Academic Publishers. Norwel, Massachusetts, USA. 409 p.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. Norma Mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. 18 p.
- Espinosa T., E., M.C. Mendoza C., y J. Ortiz C. 2004. Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones prolíficas de maíz, en dos densidades de siembra. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27 (1): 39 – 41.
- Espinosa, A., M. Taedo, L. Tinoco, R. Martínez, C. Téllez, I. González, R. Valdivia, F. Caballero, M. Sierra, M. Gómez, A. Palafox, y B. Zamudio. 2009. Épocas de cosecha, productividad y tamaño de semilla con relación al vigor de dos híbridos de maíz. Agricultura Técnica en México. 35(2): 169-177.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadedo-Robledo, M. Sierra-Macías, F. Caballero-Hernández, R. Valdivia-Vernal, y N.O Gómez-Montiel. 2010. Despanojado y densidad de población en una cruce simple androestéril y fértil de maíz. Agronomía Mesoamericana. 21(1): 159-165.

- FAO. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Roma, Italia. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.htm#toc>. Fecha de consulta 28 de febrero de 2013
- FAO. 2013. Production quantities by country. Online: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Fecha de consulta 19 febrero de 2014
- Gardner, F.P., R. Brent P., and R.L. Mitchel. 1985. Carbon fixation by crop canopies, *In: Physiology of Crop Plants*. First edition. Ames: Iowa State University Press. pp. 31-57.
- IBPGR. 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) / International Board Plant Genetic Resources (IBPGR), Mexico City/Rome. 87 p.
- ISTA. 2004. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 243 p.
- Kiesselbach, T. and W. Leonard. 1932. The effect of pollen source upon the grain yield of corn. *Agronomy Journal*. 24 (7): 517-523.
- Leakey, A., M. Uribelarrea, E. Ainsworth, S. Naidu, A. Rogers, D. Ort, and S. Long. 2006. Photosynthesis, Productivity, and Yield of Maize Are Not Affected by Open-Air Elevation of CO₂ Concentration in the Absence of Drought. *Plant Physiology*. Vol. 140 pp. 779-770.
- Luna, B. 2011. El mercado de semillas y las posibilidades competitivas para una pequeña empresa productora de semilla certificada de maíz. Tesis de maestría en Ciencias, especialidad en Producción de Semillas. Montecillo Texcoco, Estado de México. 184 p.

- Macchi L., G., F. Rincón S., N. A. Ruiz T. y F. Castillo G. 2010. Selección y mantenimiento de poblaciones. Una perspectiva para la conservación in situ de la diversidad genética del maíz. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 33 (Núm. Especial 4): 43-47.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. Crop Science. 2:176-177.
- Martínez, O., H. Aramendis, y M. Torregroza C. 1992. Selección masal divergente por prolificidad en maíz y sus efectos en las características de la espiga. Agronomía Colombiana. 9 (1): 40-48.
- Méndez, J., L. Ysavit, y J. Merazo. 2007. Uso de agua caliente para evaluar la calidad de la semilla de maíz (*Zea mays* L.) Departamento de Agronomía. Escuela de Ingeniería Agronómica. Núcleo de Monagas. Universidad de Oriente, Campus los Guaritos. Maturín, Estado Mongas, Venezuela. 8 p.
- Morales, D., P. Rodríguez, J. Dell'Amico, A. Torrecillas, y M. Sánchez. 2006. Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill. CV. AMALIA). Cultivos Tropicales. 27(1): 45-48.
- Moreno, E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Primera edición. Instituto de Biología de la UNAM. México. pp. 250-251.
- Mosquera, L., N. Riaño, Y. López, and J. Pulgarín. 2005. Net photosynthesis and CO₂ compensation concentration in three coffee (*Coffea sp.*) genotypes, bean and maize under three temperatures. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 58(2): 2827-2835.
- Mota, C., C. Alcaraz-López, M. Iglesias, M.C Martínez-Ballesta y M. Carvajal. 2009. Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. Departamento de Nutrición Vegetal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Región de Murcia, España. 43 p.

- Ochoa, M., W. Hernández, B. Rosas, y M. Carrasco. 2009. Evaluación de variedades de maíz cubano. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 9(2): 63-68.
- Oyarzún M., J. 2014. Cambio climático global, ascenso del nivel de los mares y otras consecuencias: Una revisión y síntesis del conocimiento actual. *Ciencia y Sociedad*. 20 p.
- Pérez de la Cerda, F.J., L. Córdova T., A. Santacruz V., F. Castillo G., E. Cárdenas S., y A. Delgado A. 2007. Relación entre el vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz Chalqueño. *Agricultura Técnica en México*. 33(1): 5-16.
- Polanía, A., G. Pérez, y S. Camacho. 1982. Respuesta fotosintética de algunas variedades de maíz, frijol y café. *Revista Colombiana de Química*. Bogotá, Colombia. 11 (2): 63-82.
- 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. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 37 (4): 403 – 405
- Ruíz T., N.A., F. Rincón S., J.N. Martínez R., J.M Martínez R., y M. Olvera E. 2013. Sistemas de Producción y Asimilación de CO₂ en la variedad JAGUAN de maíz criollo mejorado. XII Simposio internacional y VII Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. *Agricultura Sostenible*. 9: 1872-1886.
- Ruiz-Torres, N.A., F. Rincón-Sánchez, V.M Bautista-Morales, J.M Martínez Reyna, H.C. Burciaga-Dávila y M. Olvera-Esquivel. 2012. Calidad fisiológica de semilla en dos poblaciones de maíz criollo mejorado. *Revista Agraria*. 9(2): 43-48.
- Sánchez P., B. 2009. Caracterización física y fisiológica de poblaciones criollas de maíz bajo dos sistemas de producción. Tesis de Maestría en

Tecnología de Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 70 p.

Sánchez, J.A, E. Calvo, B. Muñoz, y R. Orta. 1999. Comparación de dos técnicas de acondicionamiento de semillas y sus efectos en la conducta germinativa de tomate, pimiento y pepino. *Cultivos Tropicales* 20 (4): 51-56.

SAS Institute (2002) SAS/STAT ® 9.0 User 'S Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.

SIAP.2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Información disponible en línea: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
Fecha de consulta 25 de septiembre de 2014.

Solís M., J., J. Virgen V., M.G. Peña O., y A. Santiago R. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 1(3): 289-304.

Vázquez C., M.G., L. Guzmán B., J.L. Andrés G., F. Márquez S., y J. Castillo M. 2003. Calidad del grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 26 (4): 231-238.

Villaseñor M., H.E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias, especialidad en Genética. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 149 p.

Zambrano Z., E. 2013. Valoración del mejoramiento genético participativo *in situ* en poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) criollo en el sureste del Estado de México. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 71 p.

Anexo 1

Cuadro A.1. Índices de Flotación, Dureza y Tiempos de Cocción en familias de plantas prolíficas derivadas de la Variedad de maíz Jaguan bajo dos sistemas de producción.

Entrada	Planta	Método de Producción	No. De Mazorca	IF %	Dureza	Tiempo de cocción (min)
3	3	H	1	0	Muy duros	45
5	5	H	1	55	Intermedios	35
9	9	H	1	1	Muy duros	45
10	10	H	1	42	Intermedios	35
11	11	H	1	59	Intermedios	35
12	12	H	1	3	Muy duros	45
15	15	H	1	1	Muy duros	45
16	16	H	1	4	Muy duros	45
21	21	H	1	12	Muy duros	45
25	25	H	1	13	Duros	40
38	3	H	2	1	Muy duros	45
40	5	H	2	38	Intermedios	35
44	9	H	2	6	Muy duros	45
45	10	H	2	13	Duros	40
46	11	H	2	17	Duros	40
47	12	H	2	4	Muy duros	45
50	15	H	2	3	Muy duros	45
51	16	H	2	1	Muy duros	45
56	21	H	2	6	Muy duros	45
60	25	H	2	21	Duros	40
73	3	M	1	0	Muy duros	45
75	5	M	1	0	Muy duros	45
79	9	M	1	4	Muy duros	45
80	10	M	1	16	Duros	40
81	11	M	1	58	Intermedios	35
82	12	M	1	25	Duros	40
85	15	M	1	25	Duros	40
86	16	M	1	2	Muy duros	45
91	21	M	1	0	Muy duros	45
95	25	M	1	0	Muy duros	45
108	3	M	2	0	Muy duros	45
110	5	M	2	0	Muy duros	45
114	9	M	2	3	Muy duros	45
115	10	M	2	19	Duros	40
116	11	M	2	68	Suaves	30
117	12	M	2	4	Muy duros	45
120	15	M	2	24	Duros	40
121	16	M	2	3	Muy duros	45
126	21	M	2	16	Duros	40
130	25	M	2	0	Muy duros	45