

**DENSIDADES DE POBLACIÓN Y EFECTO DE LA  
FERTILIZACIÓN EN ATRIBUTOS DE LA CALIDAD EN MAÍZ  
CRIOLLO MEJORADO**

**JOSÉ NOÉ MARTÍNEZ RAMÍREZ**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA  
DE GRANOS Y SEMILLAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

**Abril de 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

DENSIDADES DE POBLACIÓN Y EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN  
ATRIBUTOS DE LA CALIDAD EN MAÍZ CRIOLLO MEJORADO

TESIS POR:

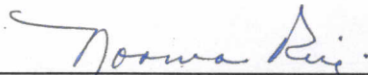
JOSÉ NOÉ MARTÍNEZ RAMÍREZ

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

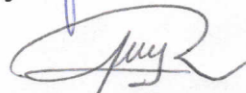
Asesor principal:

  
Dra. Norma A. Ruiz Torres

Asesor:

  
Dr. Froylán Rincón Sánchez

Asesor:

  
Dr. Juan Manuel Martínez Reyna

Asesor:

  
M.C. Hilda Cecilia Burciaga Dávila

  
Dr. Fernando Ruiz Zarate  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Abril de 2011.

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS PADRE** y a la **VIRGEN DE GUADALUPE** por ser los guías en mi camino, por darme la fuerza y voluntad para levantarme y luchar ante todo en la vida.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por todos los conocimientos que me permitió alcanzar en una gran meta más de mi carrera profesional y de mi vida personal.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico brindado durante mi estancia en la maestría.

A la **Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)** y al **Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS)** por el financiamiento del proyecto de investigación a través del **Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI)**.

Al personal del **Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas** por todos los conocimientos transmitidos y por su valiosa e incondicional amistad.

A la **Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres**, por permitirme ser parte del equipo de trabajo de investigación, además por orientarme en la realización del presente trabajo y durante mi estancia en la maestría pero, aún más por su valiosísima e incondicional amistad. Muchísimas gracias y nunca cambie su forma de ser.

Al **Ph. D. Froylán Rincón Sánchez**, por la orientación y dirección del presente trabajo de investigación, además por brindarme la oportunidad de ayudarlo en sus trabajos de investigación y ofrecerme su amistad.

Al Ph. D. **Juan Manuel Martínez Reyna**, por el apoyo brindado en las revisiones, correcciones y sugerencias del presente documento de tesis.

A la M.C. **Hilda Cecilia Burciaga Dávila**, de igual manera, por su valiosa participación en este trabajo de investigación. Además por brindarme su amistad incondicionalmente.

Al maestro **Facio**, a la maestra **Alejandra**, al Dr. **Sergio Dávila**, al maestro **Antonio Valdés** y demás maestros que me brindaron sus conocimientos durante mi desarrollo profesional

Al Ing. **José Ángel de la Cruz Bretón<sup>†</sup>** por haber sido una gran persona y además por brindarme su apoyo y amistad incondicionalmente. Dios lo tenga en su gloria y siempre lo llevaré como una fuente de admiración.

A la L.C.Q. **Magdalena Olvera Esquivel** por el apoyo en la realización del presente trabajo de investigación, además por brindarme su amistad incondicionalmente.

A mis compañeros de la generación: **Francisco "Chinacuil"**, **José Luis "pepe wuicho"**, **Aron "Raron"** y a **Gabriel "Aladino"**. Y además a todos los compañeros de la maestría que convivieron conmigo.

## DEDICATORIA

**A mis padres biológicos:**

**Miguel Martínez Figueroa†  
María Guadalupe Ramírez Sánchez**

Gracias por haberme dado el regalo más valioso de este mundo *la vida*, por haberme formado como un hombre de provecho, por el amor y cariño que siempre me han brindado, por sus sabios consejos que siempre me acompañan. Que si bien no existen padres perfectos, no pude haber tenido unos mejores que ustedes. Padre, se que te nos adelantaste en el camino pero también sé que desde allá nos brindas tu bendición y nos proteges. Madre, te agradezco infinitamente todo lo que has hecho por mí, nunca te lo podre pagar, solo le pido a Dios, que te vida para seguir con nuestros seres amados.

**A mí hermana y cuñado que los considero como mis padres:**

**Adela Martínez Ramírez  
José Luis Jiménez Ramos**

No tengo palabras para agradecerles lo que han hecho por mí y por todo el apoyo incondicional que me han brindado, por el cariño y afecto que ustedes me dan, deseo que Dios les bendiga y les conserve mucho tiempo, los quiero mucho.

**A mis hermanos:**

**Francisco**

**Emiliano**

**Guadalupe**

**Jesús**

**María**

**Eugenia**

**Miguel†**

**Rocío**

**Carina**

Gracias hermanos, por todo el apoyo y cariño que me dan, por sus consejos que he tomado y me han ayudado en mi formación. Por eso y por todo, los quiero mucho... siempre los llevare en mi corazón.

Muy en especial a mi hermano **Miguel** que Dios decidió llevárselo para que nos guíe y nos acompañe en todo momento, muchas gracias hermano por todo. Dios te tenga un su inmensa gloria acompañado de nuestro Padre.

**A toda mi Familia:**

Gracias a todos mis cuñados, sobrinos, tías, tíos, primos, primas, por brindarme su amistad y cariño incondicionalmente. Que Dios los cuide siempre.

**A Rosalba Lima Morales.** Este trabajo te lo dedico con todo el corazón y al mismo tiempo quiero agradecerte por todo el cariño, comprensión y el apoyo que me has brindado y sobre todo por tu amor.

**COMPENDIO**

**DENSIDADES DE POBLACIÓN Y EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN  
ATRIBUTOS DE LA CALIDAD EN MAÍZ CRIOLLO MEJORADO**

POR

**JOSÉ NOÉ MARTÍNEZ RAMÍREZ**

**MAESTRÍA**

**TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. ABRIL - 2011

**Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres ---Asesor---**

**Palabras clave:** densidades, asimilación de CO<sub>2</sub>, atributos de calidad física, propiedades físicas.

En las regiones rurales donde se produce maíz, la mayoría de los productores no utilizan insumos por el costo que estos conllevan. Sin embargo, al implementar algunas prácticas como mayor número o densidad de semillas a la siembra y uso mínimo de fertilizante, se puede llegar a recuperar la inversión

y aumentar su ingreso. Se evaluó la asimilación de CO<sub>2</sub> (fotosíntesis), el rendimiento y los atributos de calidad física en maíz criollo mejorado (JAGUAN), bajo el esquema de producción hembra – macho, utilizando tres dosis de fertilización con unidades de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (00-00-00, 60-60-60 y 120-60-60, respectivamente) y tres densidades de población (40, 50 y 60 mil plantas ha<sup>-1</sup>), además de determinar la correlación existente entre la asimilación de CO<sub>2</sub> y atributos de la calidad en maíz. La investigación se estableció en el ejido El Mezquite, Galeana N.L. Se encontró diferencias para la asimilación de CO<sub>2</sub> ( $P \leq 0.01$ ) en las dosis de fertilización, observando un comportamiento estadísticamente igual entre la no aplicación de fertilizante y la dosis de 60-60-60 con 41.332 y 42.113  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente, y con la más baja asimilación de CO<sub>2</sub> la dosis de 120-60-60. La forma de producción presentó diferencias ( $P \leq 0.05$ ), obteniendo los surcos hembra el mayor valor de asimilación de CO<sub>2</sub> (41.704  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Las densidades de población no tuvieron efecto alguno sobre esta variable. El rendimiento mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en las dosis de fertilización y densidades de población, encontrando mayor producción con la mayor dosis (120-60-60) con 7.3179 t ha<sup>-1</sup>, esto es 18.82 y 11.08 % superior a las dosis 00-00-00 y 60-60-60, respectivamente. La población de 60 mil plantas ha<sup>-1</sup> presentó la más alta producción con 7.219 t ha<sup>-1</sup>, superando con 16.93 y 9.30 % a las otras densidades; mientras que la forma de producción no presentó diferencias. Las características físicas de las mazorcas y semilla, fueron influenciadas sólo por las dosis de fertilización, encontrando diferencias ( $P \leq 0.05$ ) sólo en las variables granos por hilera (GHIL), longitud de grano (LG), peso de semilla



(PSEM) y diferencias ( $P \leq 0.01$ ) para longitud de mazorca (LMAZ). En las propiedades físicas del grano, el índice de flotación mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para dosis de fertilización y forma de producción. Mientras que el peso volumétrico presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) sólo para dosis de fertilización. El mayor índice de flotación (29.333 %) y el menor peso volumétrico ( $78.590 \text{ kg hL}^{-1}$ ), se obtuvo con la dosis 60-60-60, esto debido a una correlación negativa existente entre las dos variables ( $-0.583^{**}$ ). Con relación a la forma de producción, los surcos hembra presentaron mayor índice de flotación que los surcos macho con 25.444 %, indicando que son granos duros y requieren de 40 minutos para cocción. Las correlaciones que se presentaron en el trabajo de investigación, dejaron ver una mínima correlación entre variables provenientes de la asimilación de  $\text{CO}_2$  y atributos de la calidad física de la mazorca y semilla, además de no presentarse una correlación entre las variables de la asimilación de  $\text{CO}_2$  con el rendimiento del grano.

## ABSTRACT

### POPULATION DENSITY AND FERTILIZATION EFFECT IN QUALITY ATTRIBUTES OF AN IMPROVED MAIZE LANDRACE

By

JOSÉ NOÉ MARTÍNEZ RAMÍREZ

MAESTRÍA

TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. APRIL - 2011

Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres ---Advisor---

**Key Words:** *Zea mays* L., fertilization, densities, assimilation of CO<sub>2</sub>, characterization, physical properties.

In rural regions where maize is produced, most producers do not use inputs due to the involved cost. However, if they implement some practices such as increased seeds density for sowing and the minimum use of fertilizer, the economic resource can be retrieved and increase their income. CO<sub>2</sub> assimilation

yield and some physical quality attributes were assessed in an improved maize landrace population (JAGUAN), under a female - male production scheme, using three doses of fertilization with nitrogen units (N), phosphorus (P) and potassium (K) (00-00-00, 60-60-60 and 120-60-60, respectively) and three population densities (40, 50 y 60 thousand plants ha<sup>-1</sup>); in addition to determine the existing correlation between CO<sub>2</sub> assimilation and attributes of quality. The research was established in the ejido EL Mezquite, Galeana N.L. Significant differences for CO<sub>2</sub> assimilation ( $P \leq 0.01$ ) in the fertilization doses were observed, finding the same performance between no application of fertilizer and the dose of 60-60-60 with 41.332 y 42.113  $\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectively, and the doses of 120-60-60 showed the lowest CO<sub>2</sub> assimilation. The production system also presented differences ( $P \leq 0.05$ ), having the female plants the highest CO<sub>2</sub> assimilation (41.704  $\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). The population densities had no effect on this variable. The yield showed significant differences ( $P \leq 0.01$ ) for the fertilization doses and population densities, finding an increase in the production with the high dose (120-60-60) with 7.3179 t ha<sup>-1</sup>, this is 18.82 and 11.08 % higher than the doses of 00-00-00 and 60-60-60, respectively. The population of 60 thousand plants ha<sup>-1</sup> presented the highest production with 7.219 t ha<sup>-1</sup>, out yielding with 16.93 and 9.3 % the other densities; while the form of production presented no significant differences. Physical characteristics of ears and seed, were influenced by doses of fertilization, which presented differences ( $P \leq 0.05$ ) in the variables grains per row (GHIL), grain length (LG), seed weight (PSEM) and differences ( $P \leq 0.01$ ) for ear length (LMAZ). In the physical properties of the grain, the flotation index showed significant differences ( $P \leq 0.01$ ) for doses

of fertilization and form of production. While, the volumetric weight presented significant differences ( $P \leq 0.05$ ) only for doses of fertilization. The highest rate of flotation (29.333 %) and the lower volumetric weight ( $78.590 \text{ kg hL}^{-1}$ ), were obtained with the dose of 60-60-60, this is due to an existing negative correlation between the two variables ( $-0.583^{**}$ ). With regard to the form of production, female rows had higher flotation index than the male rows with 25.444 %, indicating that they had hard grains and required 40 minutes to cook. The correlations that were presented in the research work, let see a minimum correlation between variables from the  $\text{CO}_2$  assimilation and attributes of physical quality of ear and seed, in addition there was not correlation between the variables of the  $\text{CO}_2$  assimilation with the grain yield.

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
Importancia del maíz.....	3
Diversidad genética del maíz.....	5
Propiedades físicas del grano.....	7
Fotosíntesis.....	10
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
Ambiente de estudio.....	14
Material genético.....	14
Manejo agronómico.....	15
Establecimiento de tratamientos.....	15
Estudio I. Campo.....	16
Estudio II. Caracterización física de mazorca y semilla.....	20
Estudio III. Propiedades físicas.....	22
Análisis de estadístico.....	24

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
Estudio I. Campo.....	27
Estudio II. Caracterización física de mazorca y semilla.....	42
Estudio III. Propiedades físicas.....	47
Análisis de correlación.....	52
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
3.1	Índice de dureza del grano de maíz y tiempos de nixtamalización.....	24
4.1	Cuadrados medios y nivel de significancia en el estudio de asimilación de CO <sub>2</sub> .....	28
4.2	Comparación de medias de los muestreos para variables relacionas con la asimilación de CO <sub>2</sub> .....	32
4.3	Comparación de medias de las dosis de fertilización para variables relacionas con la asimilación de CO <sub>2</sub> .....	35
4.4	Comparación de medias de la forma de producción para variables relacionas con la asimilación de CO <sub>2</sub> .....	35
4.5	Cuadrados medios del análisis de varianza para el rendimiento de grano.....	37
4.6	Comparación de medias por dosis de fertilización para rendimiento.....	38
4.7	Comparación de medias del rendimiento por densidades de población.....	39
4.8	Medias para la forma de producción en el rendimiento.....	41
4.9	Cuadrados medios del análisis de varianza para variables de la descripción de las mazorcas.....	43
4.10	Comparación de medias por dosis de fertilización para variables de la descripción de las mazorcas.....	43
4.11	Medias por densidades de población para variables de la descripción de las mazorcas.....	46

4.12	Medias para la forma de producción en las variables de la descripción de las mazorcas.....	46
4.13	Cuadrados medios del análisis de varianza con las variables de propiedades físicas.....	48
4.14	Comparación de medias por dosis de fertilización para las propiedades físicas.....	48
4.15	Medias por densidades de población para las propiedades físicas.....	50
4.16	Comparación de medias para la forma de producción para propiedades físicas.....	51
4.17	Coefficientes de correlación entre las diferentes variables evaluadas en el trabajo de investigación.....	53



## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es una planta que ha evolucionado en conjunto con el desarrollo de las civilizaciones en México. Cultivo que ocupa un lugar preponderante en la producción agrícola del país, así como en la vida de las poblaciones indígenas y de los agricultores a pequeña escala.

En México, en el 2008 se sembraron alrededor de 7.94 millones de hectáreas de maíz, con una producción promedio de 24.41 millones de toneladas, cifra que es insuficiente para la demanda nacional (33.32 millones t), dando como consecuencia el recurrir a la importación de un volumen superior a los 8.20 millones de toneladas de grano amarillo (Financiera Rural, 2009).

Una de las razones primordiales de la baja producción, es sin duda el uso de semillas criollas sembrada bajo condiciones de temporal y en muchos de los casos, con altos índices de siniestralidad, ocasionado por la ausencia de lluvia en las etapas críticas del cultivo. Aunado a lo anterior, la mayor superficie del territorio mexicano es sembrada bajo condiciones de temporal (85 %) y el resto corresponde a condiciones de riego (15 %) (SAGARPA - SIAP, 2007). Por otro lado, los agricultores no utilizan tecnología apropiada para aumentar los

rendimientos como es el caso del control de plagas, enfermedades y maleza: además del uso de fertilizantes químicos y el manejo en las densidades de población.

En base a lo anteriormente expuesto y a las necesidades de obtener información del noroeste de México, sobre la respuesta de los materiales criollos mejorados, aplicándoles niveles de fertilización y utilizando diferentes densidades de población, se realizó el presente trabajo de investigación.

### **Objetivos**

- Determinar el efecto de diferentes dosis de fertilización y densidades de población en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, el rendimiento de grano y atributos de calidad física en mazorca y semilla, en la variedad JAGUAN.
- Determinar la correlación entre la asimilación de CO<sub>2</sub> y atributos de la calidad en maíz.

### **Hipótesis**

Los niveles de fertilización y la densidad de población, incrementarán la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y el rendimiento de grano de la variedad JAGUAN y modificarán la expresión de los atributos en la calidad de mazorca y semilla.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia del maíz

La superficie destinada a la producción de maíz a nivel mundial ascendió a 159 millones de hectáreas para el año 2007, un 14 % mayor que en 1998. Estados Unidos representó el 22 % de la producción, seguido de China con 18 %, Brasil, India y México (5.1 %), abarcando estos países el 60 % del total, tendiendo a la alza en los últimos años (FAO, 2009).

De todos los cereales existentes, el maíz es el más importante del mundo, debido a que existe una tendencia creciente por la diversificación en su uso; ya que se utiliza para la alimentación humana y pecuaria (pollos y cerdos) así como uso industrial (producción de almidón, glucosa, dextrosa, fructosa, aceites, botanas, etanol, etc.), además como para la elaboración de bebidas alcohólicas y otros productos utilizados como materia prima en las industrias minera, textil, electrónica, etcétera (SAGARPA – SIAP, 2007).

De acuerdo a la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO, 2009), se produjeron a nivel mundial 791.8 millones de toneladas de maíz en el año 2007, (12 % mayor a las del año anterior). La evolución de la producción ha sido positiva; de 1998 a 2002 la producción fue estable, y a partir del 2003 se presentaron incrementos, que se reflejaron en el volumen cosechado (20 %). Éste se debió a la implementación de nuevas tecnologías que permitieron rendimientos mundiales mayores (1.4 %), ubicándose en  $5 \text{ t ha}^{-1}$ .

Durante el periodo de los años 1998-2007, los principales países productores de maíz fueron: Estados Unidos con 40 % del total, China con 20, Brasil 6, y México 3, continuando Argentina, Francia, India, Indonesia, Italia y Canadá (FAO, 2009).

El cultivo más importante en México es el maíz, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. La producción se obtiene en dos ciclos: primavera verano (P-V) y otoño invierno (O-I). La superficie promedio sembrada anual durante 1998-2007 ascendió a 8.6 millones de hectáreas, de las cuales el 80 % se cultivo en P-V y el resto en O-I, con una producción de 6.8 y 1.7 millones de hectáreas, respectivamente, donde el 81 % fue bajo condiciones de temporal (SIAP - SIACON, 2009).

La parte noreste de México aporta el 6.8 % (1`789,662.7 t) de la producción de maíz, donde se encuentran incluidos los estados de Chihuahua, Coahuila de Zaragoza, Durango, Nuevo León y Tamaulipas. En Coahuila con gran superficie territorial y con muy baja producción, sólo aporta cerca del 1 % (16,507 t) (SIAP - SIACON, 2009).

### **Diversidad genética del maíz**

El maíz (*Zea mays* L.) ha sido el cereal básico en la alimentación de grandes sectores de la población urbana y rural de México y de países Latinoamericanos.

Gran parte de la diversidad genética del maíz se concentra en América, principalmente en México, donde se consume entre otros alimentos, en forma de tortilla, arepas, pinoles, atoles, tostadas, botanas, tamales y elotes. La elaboración de cada uno de esos productos requiere de granos con características de color, tamaño y dureza específica (Figuroa *et al.*, 2005).

La mayor diversidad genética de maíz, se manifiesta en variación de caracteres morfológicos vegetativos, como de espiga, mazorca, grano, y en su

composición química. Hay reportes de 436 razas en el continente americano de las cuales 50 se encuentran en México (Goodman y Brown, 1988).

La base genética del maíz, ha sido aplicada con los múltiples procesos de selección, adaptación y manejo; la variabilidad es el resultado de las combinaciones genéticas entre diversos tipos de maíces, así como la respuesta de la interacción genotipo por ambiente físico y biótico en el proceso evolutivo y de la selección utilizada por los agricultores. Un factor determinante de la diversidad es el manejo de los cultivos en los diferentes agroecosistemas y unidades de producción, en los que pueden variar las densidades de población, fechas de siembra, dosis y épocas de fertilización y riego, que interaccionan fuertemente con el genotipo (Turrent *et al.*, 2005).

En México, la mayor superficie sembrada con híbridos de maíz y variedades mejoradas se localiza en la Región del Pacífico (clima tropical), representada por Sinaloa y El Bajío (clima templado), en los estados de Jalisco, Guanajuato y Querétaro (SAGARPA – SIAP, 2007). La mayor parte de la producción proviene de híbridos, destinada principalmente a la industria, mientras que el grano proveniente de las variedades criollas se destina al autoconsumo.

## Propiedades físicas del grano

La calidad del grano de maíz está relacionada tanto físicamente que determina la textura y dureza, como por su composición química, las que define su valor nutrimental y sus propiedades tecnológicas. La importancia relativa de éstas características resultará del destino de la producción (Aguirrezábal y Andrade, 1998). Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y demás, y paulatinamente se reduce la tolerancia a sustancias contaminantes. Requieren granos sanos, limpios, tamaño uniforme, textura y color, cuyas características, están determinadas por factores genéticos y por condiciones de producción y manejo (Almeida y Rooney, 1996).

El manejo agronómico, en especial la nutrición, modifica la estructura y composición del grano. En cinco variedades cultivadas en un suelo arcilloso con pH de 5.2, materia orgánica de 5.1 g kg<sup>-1</sup> y un contenido de nitrógeno de 0.54 g kg<sup>-1</sup>, se observó que, con la aplicación de nitrógeno al suelo en dosis de 30 a 60 kg ha<sup>-1</sup>, los cultivares 8644-27 y TZPB-SR tuvieron mayor porcentaje de granos flotantes, que SPL y TZB-SR debido a un cambio en la proporción de endospermo harinoso (Oikeh *et al.*, 1998). Por otro lado, con dosis de cero, 90 y 180 kg de nitrógeno (N) ha<sup>-1</sup>, el híbrido Funk 4023 mostró un incremento en el peso de 1000 granos con la dosis de 90 kg N ha<sup>-1</sup> (Zhang *et al.*, 1993).

Los híbridos de maíz difieren en su requerimiento de nitrógeno para obtener su máximo rendimiento de grano, lo cuál afecta su textura. Al sembrar ocho híbridos de maíz con cero, 67, 134, 201, 268 y 402 kg de nitrógeno (N) ha<sup>-1</sup> durante tres años, los híbridos en condiciones deficientes de N produjeron granos menos translúcidos y más susceptibles al daño mecánico durante su procesamiento, que aquellos producidos con suficiente N (Tsai *et al.*, 1992). Asimismo, al cultivar 10 híbridos de maíz con 300 kg de N ha<sup>-1</sup> aumentaron los porcentajes de pericarpio y germen, además una disminución el índice de flotación del grano (Zepeda *et al.*, 2007).

Tanaka *et al.* (2005) evaluando en Argentina el híbrido de maíz colorado duro, durante 2002/03 bajo distintas condiciones de manejo agronómico (densidades entre 6 y 10.5 plantas m<sup>-2</sup>, fechas de siembra y niveles de nitrógeno y azufre), encontraron que las siembras tempranas con densidades moderadas y una buena nutrición mejoraron la calidad del grano (tanto en tamaño como en dureza) al propiciar mejores condiciones para su llenado.

Cuando la densidad de población del maíz aumenta, la respuesta en rendimiento de grano se puede describir mediante una parábola, con el típico punto máximo óptimo y con una disminución gradual conforme se aumenta la densidad de población, debido a que los fotoasimilados disponibles en la planta son utilizados más en el desarrollo vegetativo o en la respiración de mantenimiento, que en el crecimiento del grano (Tollenaar *et al.*, 1994). Esta



reducción principalmente se presenta porque disminuye el número de granos por unidad de área (Tollenaar *et al.*, 1992; Cox, 1996) y en menor medida, por la disminución en el peso de los mismos (Tetio-Kagho y Gardner, 1988). El estrés provocado por la excesiva competencia interplanta durante etapas posteriores a la fecundación, provoca reducción en la acumulación de biomasa de los granos en formación, afectando su peso (Tollenaar, 1992).

Para controlar la calidad comercial del grano de maíz blanco de consumo humano para la elaboración de tortillas y productos nixtamalizados, la Norma Mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI, 2002) establece: 1) peso hectolítrico superior a 74 kg hL<sup>-1</sup>; 2) humedad de nixtamal entre 36 y 42 %; 3) índice de flotación máximo 40 %; 4) pericarpio remanente mayor a 2 %; 5) pérdida de sólidos máximo 5 %; 6) porcentaje de reflectancia > 70. La misma norma define al peso hectolítrico (PH) o peso específico, como el contenido de masa en un volumen y se expresa como el peso (kg) de un volumen de 100 L (hL) de grano de maíz (kg hL<sup>-1</sup>). Mientras que la dureza del grano (índice de flotación) es definida como la resistencia que posee a la acción mecánica o al quebrado durante la cosecha y la poscosecha.

El maíz apropiado para la industria de la tortilla requiere grano suave, mientras que para elaborar botanas y harina requiere un grano duro. En caso de que se tengan granos de maíz duros, el índice de flotación será muy bajo o

nulo; los suaves o muy suaves son los que presentan un mayor índice de flotación, en estos maíces el contenido de endospermo harinoso es mayor en relación con el contenido de endospermo duro o vítreo (Gaytán, 2004).

El tiempo de cocción está positivamente correlacionado con el peso de 1000 granos, con una  $r=0.732^{**}$ , o sea que granos grandes y de mayor peso toman más tiempo para su cocción. Las variedades con tiempos largos de hidratación también son lentas en la gelatinización del almidón, lo cual afecta la calidad de la tortilla. Un grano suave requerirá un menor tiempo de cocimiento en contraste con un grano duro (López *et al.*, 2004).

Rangel *et al.* (2003) encontraron que los maíces blancos mostraron mayor dureza y adhesividad de masa, mayor reflectancia, tiempo de extensión y cocción de tortilla; el maíz azul tuvo menor dureza y adhesividad de masa, menor reflectancia, tiempo de extensión y de cocción de la tortilla; en tanto que los amarillos mostraron un comportamiento intermedio entre los dos mencionados.

## **Fotosíntesis**

La fotosíntesis es un proceso físico-químico por el cual plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas como diatomeas utilizan la energía

de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. Se trata de un proceso fundamental para la vida sobre la tierra y tiene un profundo impacto sobre la atmósfera y el clima terrestres (Pérez y Carril, 2009).

Una de las particularidades de la agricultura, sin duda la más importante, está en el hecho de que las plantas en general y los cultivos agrícolas en particular son capaces de utilizar directamente la energía solar y transformarla en materia vegetal, gracias a la fotosíntesis. Esa materia vegetal, a la que llamamos biomasa, es la base energética para alimentar directa o indirectamente a todos los seres vivos del planeta.

La planta necesita desarrollar un aparato fotosintético óptimo, en tamaño, estructura foliar, microestructura, composición bioquímica y actividad fotosintética. En ello influyen la variedad, así como los factores ambientales incontrolados. Los factores controlables como la nutrición mineral, el riego y la densidad de plantas deberían ser utilizados para optimizar el desarrollo del aparato fotosintético. También la tasa de fotosíntesis se relaciona con la condición fisiológica de la planta, el estado de sus estomas y otros factores de procesos secundarios como la carboxilación, la vía glicolítica y la respiración oscura. Existen otros factores específicos que afectan el proceso fotosintético como son: la temperatura, el oxígeno, dióxido de carbono y el efecto de la luz (Bidwell, 1979).

La radiación solar total que incide sobre el follaje de los cultivos tiene un intervalo de longitud de onda de 0.380 a 4.00  $\mu\text{m}$ ; para la fotosíntesis, las plantas utilizan sólo la radiación de 0.400 a 0.700  $\mu\text{m}$ , definida como la radiación fotosintética activa (RFA), y corresponde aproximadamente a 48 % de la radiación solar total incidente (Nobel, 1991; Jones, 1992).

Otro factor importante es el balance entre la entrada y salida de agua del sistema de cultivo, es la transpiración, componente que está directamente ligado con la fotosíntesis y por consiguiente con el crecimiento de las plantas y el rendimiento. Es decir, que los cultivos pueden aprovechar la mayor parte del agua del suelo, y utilizar este recurso, intercambiándolo por el  $\text{CO}_2$  a nivel de los estomas de las hojas para la producción de fotoasimilados, convirtiendo luego estos productos en una forma cosechable (biomasa vegetal y grano) (Gil, 2007).

Las plantas de alta eficiencia son en su mayoría tropicales y subtropicales como el maíz, que son plantas del tipo  $\text{C}_4$  de lo que se deduce que este cereal es una planta con alta tasa fotosintética ya que ésta fluctúa entre 35 y 70 (miligramos de  $\text{CO}_2/\text{dm}^2/\text{h}$ ) en condiciones naturales (Aldape, 1995).

El incremento de la densidad de población conduce a una disminución en el uso eficiente de la radiación solar (fotosíntesis) (Purcell *et al.*, 2002), el cual puede afectar significativamente a la producción y calidad del grano. Por su parte Montemayor *et al.* (2006), analizaron el efecto de la densidad de población y la estructura del follaje del maíz en la penetración de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con algunas características del rendimiento. Los resultados indicaron que a mayor densidad de plantas hay menor penetración de la radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Zermeño *et al.* (2005), evaluaron la reflectividad y absorptividad de la radiación solar total y fotosintética activa en tres densidades de plantas de maíz (6.9, 8.9 y 12.5 plantas  $m^{-2}$ ) de la variedad CAFIME y su relación con el desarrollo y rendimiento, para ello se utilizó piranómetros de silicón y sensores cuánticos. Los resultados en las tres densidades de población muestran una radiación solar total (Rsw) absorbida de 75 % y la radiación fotosintética activa (RFA) del 95 %. Al aumentar la densidad se incrementó ligeramente la absorptividad a la RFA pero, se redujo la absorptividad a la Rsw. La asimilación de  $CO_2$  fue mayor con menor densidad, mientras que el rendimiento de grano ( $kg\ ha^{-1}$ ) fue superior con la mayor densidad de plantas; por lo tanto, la productividad de grano de la variedad CAFIME se puede incrementar aumentando la densidad, lo que se debe a una mayor absorptividad de la RFA por unidad de superficie.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Ambiente de estudio**

El presente trabajo se realizó en la localidad El Mezquite perteneciente al municipio de Galeana, estado de Nuevo León, ubicado a 24° 49' de latitud Norte y a los 100° 05' de longitud Oeste, a una altitud de 1890 msnm (Georeferenciado); predominando los suelos sedimentarios del periodo jurásico, la precipitación media anual es de 412.9 mm y la temperatura máxima, media y mínima son 25.9, 15.8 y 4.3 °C, respectivamente. Los datos climáticos, fueron recopilados de una estación climatológica cercana al sitio durante los años 1971-2000 correspondiente al Servicio Meteorológico Nacional en el Cuije, Galeana, N.L. (SMN, 2000).

#### **Material genético**

El material usado se estableció en la siembra del ciclo Primavera-Verano (P-V) 2008, el cual es una población criolla mejorada denominada JAGUAN. Actualmente se encuentra en el tercer ciclo de selección de mejoramiento.

## **Manejo agronómico**

Se realizaron prácticas culturales de barbecho, rastra y surcado; para acondicionar el terreno y obtener una buena emergencia de plantas en campo. La distancia entre surcos fue de 0.92 metros y 150 metros de largo. La siembra se realizó con humedad y los riegos posteriores, se efectuaron conforme se presentaron las condiciones climáticas. Para el control de malezas se realizó una aplicación de Primagram Gold que es un herbicida preemergente.

## **Establecimiento de tratamientos**

### **Niveles de fertilización**

El terreno se dividió en tres partes para la distribución de los niveles de fertilización, donde cada una constó de 54 surcos. A la primera parte no se le aplicó fertilizante (testigo); la segunda se le aplicó una dosis de 60-60-60, que fue aplicada al momento de la siembra y la tercera (120-60-60), la cual se distribuyó en dos etapas: 60-60-60 al momento de la siembra y la segunda (60-00-00) al primer cultivo. La primera aplicación de fertilizante (60-60-60) se realizó con la fórmula triple-17 (17-17-17), en tanto que la parte complementaria de la fórmula (120-60-60) fue aplicada con Urea.

## **Densidades de población**

Posteriormente, dentro de cada nivel de fertilización se dividió en tres, para el establecimiento de tres densidades de población (40, 50 y 60 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ ).

## **Forma de producción**

En todo el lote se establecieron surcos hembra (plantas desespigadas) y surcos macho (plantas normales) en proporción 4:2. Estableciéndose en total 72 unidades experimentales en el lote de producción (tres niveles de fertilización x tres densidades población x 2 formas de producción x cuatro repeticiones)

## **Estudio I. Campo**

### **Asimilación de $\text{CO}_2$**

Se utilizó un equipo portátil LI-COR 6400 (LI-6400), que usa los principios de intercambio de gas para medir la tasas de asimilación de  $\text{CO}_2$  en plantas. Se estableció una concentración de  $\text{CO}_2$  de 350 ppm en la atmósfera. Las tasas de fotosíntesis neta se expresaron como los porcentajes de absorción de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-2}$ ). Se tomaron mediciones en 2 plantas de 36 unidades experimentales, que correspondían a dos bloques.



Se determinaron las siguientes variables:

- **Conductancia estomática (COND):** Está regulada a la vez por las pérdidas de vapor de agua y el ingreso de  $\text{CO}_2$ , por lo que su función es no solamente minimizar la transpiración, sino también maximizar la fotosíntesis. Esta variable se midió en  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .
- **Concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular (CI):** Valor que depende de la demanda de  $\text{CO}_2$  en los cloroplastos de la hoja y de la tasa de suministro de  $\text{CO}_2$  al interior de la misma, además está determinada a su vez por la conductancia estomática; por lo tanto, sería de esperarse que con una mayor conductancia haya mayor disponibilidad de este gas en los espacios intercelulares de la hoja. La unidad de medición fue en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$ .
- **Transpiración (TRMMOL):** Es la salida de vapor de agua a través de las membranas de las células superficiales de las plantas, la cual fue medida en  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .
- **Radiación fotosintéticamente activa externa (PARo):** Es la porción del espectro electromagnético que es la fuente de energía utilizada en la fotosíntesis y generalmente coincide con el espectro de luz visible (aproximadamente 400-700 nm). La radiación fotosintéticamente activa se

caracteriza por una mayor absorción por parte de los pigmentos de la longitud de onda, de la luz azul y roja, esta variable fue medida en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

- **Uso eficiente del agua (UEA):** Es la medida de la eficiencia en la planta para absorber el  $\text{CO}_2$  que se requiere para realizar la fotosíntesis. La eficiencia radica en absorber  $\text{CO}_2$  sin perder cantidad significativa de agua a través de los poros (estomas) que se encuentran abiertos para absorber  $\text{CO}_2$ . Esta variable se determinó mediante el cociente entre la asimilación de  $\text{CO}_2$  y la conductancia estomática (FOTO/COND). La unidad de medición de esta variable fue en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ .
- **Eficiencia de carboxilación (CE):** Es el cociente entre la concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular y el ambiental (CI/CA). Proporciona un índice aproximado de las limitaciones estomáticas y no estomáticas de la fotosíntesis. La unidad de esta medición es adimensional.

### **Rendimiento de grano**

Para la estimación de esta variable se tuvo que determinar los siguientes parámetros:

- **Peso de campo (PC):** Se estimó mediante el peso de las mazorcas que fueron cosechadas en cada unidad experimental, expresado en kilogramos.
- **Humedad de grano (H):** Parámetro determinado al momento de la cosecha, mediante una muestra de grano compuesta por varias mazorcas de la unidad experimental y fue medida con un aparato Dickey John modelo 462331247.
- **Rendimiento:** Dato obtenido, multiplicando el valor del peso seco por un factor de conversión, expresado en t ha<sup>-1</sup> al 15 % de humedad. Este valor fue multiplicado por 0.85 para obtener el rendimiento estimado de grano considerando un 85 % de desgrane.

El peso seco (PS) fue estimado multiplicando el peso de campo por el porcentaje de grano seco.

$$PS = PC * \left(1 - \frac{H}{100}\right)$$

El factor de conversión (FC) fue calculado de la siguiente forma:

$$FC = \frac{100}{85} * \frac{10000}{APU} / 1000$$

**Donde:**

APU (Área de parcela útil), calculado como la distancia entre surcos por la distancia entre plantas por el número de plantas por parcela; 100/85, coeficiente para obtener el rendimiento al 15 % de humedad; 1000, constante usada para calcular el rendimiento en  $t\ ha^{-1}$ ; 10000, superficie de una hectárea en  $m^2$ .

**Estudio II. Caracterización física de mazorca y semilla**

Los estudios de caracterización y propiedades físicas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Nota:** la recolección de las mazorcas se efectuó al momento de la cosecha, donde se seleccionaron cinco mazorcas enteras y representativas de cada unidad experimental, estas fueron las utilizadas para la caracterización y propiedades físicas.

La caracterización física de mazorca y semilla se realizó mediante el Manual Gráfico para la Descripción Varietal en Maíz (SNICS, 2009).

## **Variables estudiadas**

- **Peso de la mazorca (g):** Se colocó la mazorca entera y se determinó el peso con una balanza Precisa modelo BJ610C. Expresado al 12 % de humedad.
- **Número de hileras en la mazorca:** El cual se contabilizó en cada mazorca.
- **Número de granos por hilera:** Se contaron los granos de una hilera representativa y completa.
- **Longitud de la mazorca (cm):** Esta medición se realizó desde la base al ápice de la mazorca con una regla graduada de 30 centímetros.
- **Diámetro de la mazorca (cm):** La medición se hizo con un vernier digital, midiendo la parte central de la mazorca.
- **Dimensiones de los granos “largo, ancho y espesor” (cm):** Para la obtención de estas variables se tomaron 10 granos consecutivos de una hilera y posteriormente se realizó las mediciones con una regla.
- **Peso de 50 semillas (g):** Esta medición se realizó tomando por duplicado 50 semillas al azar y posteriormente se obtuvo el peso en una balanza Precisa modelo BJ610C.

- **Peso de las semillas (g):** Se desgranó cada mazorca y posteriormente se colocaron los granos en la balanza Precisa modelo BJ610C para obtener la lectura.
- **Diámetro del olote (cm):** Esta medición se realizó con un vernier digital y la lectura se tomó de la parte central del olote.
- **Peso de 1000 semillas:** Mediante el peso de dos repeticiones de 50 semillas multiplicado por 10, se estimó el peso de 1000 semillas. La variable se ajustó con el contenido de humedad al 12 %.
- **Porcentaje de desgranado:** Se determinó mediante el cociente del peso de semilla entre el peso de la mazorca.

### **Estudio III. Propiedades físicas**

#### **Contenido de humedad**

Utilizando un determinador Steinlite, en donde se realizaron dos repeticiones por unidad experimental y al final se promediaron para tener así un dato más confiable. Esta variable sirvió para ajustar las variables de peso volumétrico, peso de mazorca, peso de mil semillas y peso de semilla.

### **Peso volumétrico**

Al término de la caracterización, se procedió a determinar el peso volumétrico con la ayuda de una balanza Ohaus. La muestra obtenida en cada unidad experimental fue insuficiente y no llegaba a cubrir el recipiente con la capacidad de 1 litro, por lo cual se utilizó un recipiente de menor capacidad (0.5 litros). A cada muestra se le realizaron dos repeticiones y al término se promediaron y multiplicó por dos para dar así un dato de gramos por litro. Posteriormente en la base de datos se ajustó el peso volumétrico en kilogramos por hectolitro ( $\text{kg hl}^{-1}$ ). Aunado a lo anterior, el peso de esta variable se ajustó al 12 % de contenido de humedad, quedando esto para todas las unidades experimentales.

### **Dureza del grano (Índice de flotación)**

Se preparó una solución de nitrato de sodio ( $\text{Na NO}_3$ ) (300 ml) ajustada a  $1.250 \text{ g ml}^{-1}$  ( $\pm 0.001$ ) de densidad, mediante un picnómetro, posteriormente se introdujeron 100 granos limpios (libres de impurezas), separando los granos uno de otro agitando mediante un agitador de vidrio, después de un minuto se cuantificaron los granos flotantes en la solución. Para el cálculo del porcentaje de granos flotantes se utilizó la siguiente fórmula:

$$IF = \left[ \frac{\text{Granos que flotaron}}{\text{Total de granos}} \right] \times 100$$

El índice de flotación indica que a mayor número de granos flotantes menor es la dureza y por consiguiente al tener menos granos flotantes mayor dureza. En base a la Norma Mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002), la cual señala que mediante el índice de flotación se clasifica la dureza del grano (Cuadro 3.1) y a partir de esta se le destina el uso, es decir, que a partir de los granos duros se pueden elaborar frituras y para la industria de la masa y las tortillas se utilizan granos con dureza intermedia.

**Cuadro 3.1.** Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización

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

### **Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos de la variable agronómica (fotosíntesis) se realizó un análisis con un diseño bloques completamente al azar con arreglo factorial 3X3X2 (muestreos, dosis de fertilización y forma de producción) cuyo modelo estadístico es el siguiente:



$$Y_{ijmk} = \mu + \beta_k + M_i + F_j + P_m + (MF)_{ij} + (MP)_{im} + (FP)_{jm} + (MFP)_{ijm} + \xi_{ijmk}$$

$k = 1, 2$  bloques;  $i = 1, 2, 3$  muestreo;  $j = 1, 2, 3$  dosis de fertilización;  $m = 1, 2$ , forma de producción.

$Y_{ijmk}$  = Respuesta de la unidad experimental;  $\mu$  = Media general;  $\beta_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo bloque;  $M_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo muestreo;  $F_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima dosis de fertilización;  $P_m$  = Efecto de la  $m$ -ésima forma de producción;  $(MF)_{ij}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo muestreo con la  $j$ -ésima dosis de fertilización;  $(MP)_{im}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo muestreo con la  $m$ -ésima forma de producción;  $(FP)_{jm}$  = Efecto de la interacción de la  $j$ -ésima dosis de fertilización con la  $m$ -ésima forma de producción;  $(MFP)_{ijm}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo muestreo con la  $j$ -ésima dosis de fertilización y la  $m$ -ésima forma de producción;  $\xi_{ijmk}$  = Error experimental.

Los datos obtenidos en las variables de caracterización de mazorca y grano, además de las variables físicas se analizaron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3X3X2 (dosis de fertilización, densidades de población y forma de producción [hembra y macho]) cuyo modelo es el siguiente:

$$Y_{ijl} = \mu + F_i + D_j + P_l + (FD)_{ij} + (FP)_{il} + (DP)_{jl} + (FDP)_{ijl} + \xi_{ijl}$$

$i = 1, 2, 3$  dosis de fertilización;  $j = 1, 2, 3$  densidades de población;  $l = 1, 2$  forma de producción.

$Y_{ijl}$  = Respuesta de la unidad experimental;  $\mu$  = Media general;  $F_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima dosis de fertilización;  $D_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima densidad de población;  $P_l$  = Efecto de la  $l$ -ésima forma de producción;  $(FD)_{ij}$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización con la  $j$ -ésima densidad de población;  $(FP)_{il}$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización con la  $l$ -ésima forma de producción;  $(DP)_{jl}$  = Efecto de la interacción de la  $j$ -ésima densidad de población con la  $l$ -ésima forma de producción;  $(FDP)_{ijl}$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización con la  $j$ -ésima densidad de población y la  $l$ -ésima forma de producción;  $\xi_{ijl}$  = Error experimental.

Los datos de las variables evaluadas se procesaron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2004). Aunado al análisis de varianza, se realizó una comparación de medias por medio de la Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) a todas las variables evaluadas.

Además se llevó a cabo una correlación simple de Pearson con la finalidad de analizar la asociación entre las variables de campo y las propiedades físicas.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente trabajo se estableció un lote de producción de semillas, bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada y densidades de población donde se estudió la respuesta de estos factores sobre algunas variables agronómicas y físicas, agrupadas en tres diferentes estudios, los cuales se describen a continuación:

### **Estudio I. Campo**

En campo se realizó una evaluación de fotosíntesis en diferentes fechas de crecimiento del cultivo y se determinó el rendimiento de grano por superficie.

En el Cuadro 4.1, se muestra el comportamiento de las variables medidas por el LI-COR 6400 que determinan la capacidad del metabolismo fotosintético de las plantas.

**Cuadro 4.1.** Cuadrados medios y nivel de significancia en el estudio de asimilación de CO<sub>2</sub>.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	PHOTO		COND		CI		TRMMOL		PARo		EUA		CE
		$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$	**	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	**	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$	**	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	**	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	**	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$	*	
<b>Bloques</b>	1	1854.4	**	0.213	**	1541.8		132.28	**	3861630	**	1971.0	*	0.01
<b>Muestréos (M)</b>	2	4958.1	**	1.298	**	44042.0	**	1134.27	**	20911532	**	25455.0	**	0.35 **
<b>Fertilización (F)</b>	2	486.5	**	0.086	**	4257.9	*	18.58	**	783398	**	625.8		0.03 *
<b>M x F</b>	4	369.1	**	0.039	*	1808.5		21.16	**	1078046	**	486.3		0.01
<b>Producción (P)</b>	1	463.7	*	0.083	*	4469.0	*	8.45		83898		1760.4	*	0.03 *
<b>M x P</b>	2	63.5		0.004		1047.0		0.62		99008		216.0		0.01
<b>F x P</b>	2	143.3		0.029		2567.1		3.90		39348		306.9		0.02
<b>M x F x P</b>	4	39.4		0.016		1138.3		2.22		31932		487.3		0.01
<b>Error</b>	197	72.3		0.014		1052.9		2.89		151459		353.8		0.01
<b>C.V.</b>		21.136		27.905		23.160		21.970		24.920		18.381		23.164

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; GL=Grados de libertad; C.V.= Coeficiente de variación; PHOTO= Asimilación de CO<sub>2</sub>; COND= Conductancia estomática; CI= Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular; TRMMOL= Transpiración; PARo= Radiación fotosintéticamente activa externa; EUA= Uso eficiente del agua; CE= Eficiencia de carboxilación.

El análisis de variación mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ), en la interacción de los muestreos con las dosis de fertilización para la asimilación de  $\text{CO}_2$ , transpiración y la radiación fotosintéticamente activa, mientras que para la conductancia estomática, se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ). Lo anterior demuestra que la fertilización, influyó de manera significativa en los muestreos realizados para la toma de datos con el LICOR 6400.

Los muestreos presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables estudiadas, además este factor presentó los valores relativos a los cuadrados medios más elevados, lo que sugiere una mayor variación con respecto al resto de los factores en el modelo, esto pudo deberse a que los muestreos se realizaron en diferentes fechas.

Las diferencias se pueden también atribuir a que la planta conforme va desarrollándose va incrementando el índice de área foliar (IAF) y con ello va teniendo mayor captación de luz. Rojas (2010) menciona que el IAF varía con su fase de desarrollo (aumenta con la aparición de hojas y el crecimiento foliar y disminuye con la senescencia de las hojas), además comenta que al aumentar el IAF aumenta la tasa fotosintética de la planta.

Mientras que Lazcano (1997), menciona que las plantas de maíz incrementan su peso poco a poco, muy despacio inicialmente. A medida que la planta produce más hojas y éstas son expuestas a la luz del sol, la velocidad con la que se acumula la materia seca (fotosíntesis) se incrementa rápidamente.

Los niveles de fertilización presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para fotosíntesis, conductancia estomática, radiación fotosintéticamente activa y transpiración y diferencias ( $P \leq 0.05$ ), para concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular y eficiencia de carboxilación, en tanto que la forma de producción tuvo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) para fotosíntesis, conductancia estomática, concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular, eficiencia en el uso del agua y eficiencia de carboxilación.

En las dosis de fertilización pudo deberse a la mayor o menor cantidad de nitrógeno disponible para la planta, esto con base en que la fotosíntesis necesita de este elemento para llevarse a cabo. A lo anterior Venanzi y Krüger (2010), mencionan que el nitrógeno interviene en la síntesis de clorofila y con ello influyen en el proceso fotosintético.

La forma de producción (hembra y macho) presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para las variables asimilación de  $\text{CO}_2$ , conductancia estomática, concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular, uso eficiente del agua y la

eficiencia de carboxilación. Las diferencias entre los surcos hembra y macho, posiblemente se debió a la eliminación de la parte masculina (espiga) en los surcos hembra y está pudo modificar la asimilación de nutrientes.

Los muestreos se realizaron en la etapa de prefloración, sin embargo no hay una etapa fija para realizar los muestreos de asimilación de CO<sub>2</sub> (fotosíntesis), ya que los muestreos pueden realizarse a partir de la primera hoja verdadera hasta la hoja bandera. En el presente estudio se realizó en un periodo muy corto de tiempo (7 días) y en una sola etapa vegetativa, lo cual puede afectar los datos.

En la comparación de medias entre muestreos (Cuadro 4.2), se observó que la mayor asimilación de CO<sub>2</sub> (PHOTO) se presentó en el día 26 de agosto (47.272  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y la menor asimilación el día 28 del mismo mes (31.086  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), cabe mencionar que la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PARo) del día 28 fue la menor (954.930  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), por ende que el valor de la tasa fotosintética tuvo un valor inferior ya que hubo menos captación de luz por parte de las hojas.

La intensidad de luz es un factor muy importante en el proceso de la fotosíntesis. Además se puede observar que conforme pasa el tiempo la asimilación de fotosintatos va decreciendo por la senescencia de las hojas.

**Cuadro 4.2.** Comparación de medias de los muestreos para variables relacionadas con la asimilación de CO<sub>2</sub>.

MUESTREO	PHOTO		COND		CI		TRMMOL		PARo		EUA		CE	
	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$		$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$			
<b>26 Agosto</b>	47.272	a	0.446	b	124.383	b	7.457	b	1745.500	b	109.602	a	0.355	b
<b>28 Agosto</b>	31.086	c	0.280	c	127.326	b	3.920	c	954.930	c	116.418	a	0.363	b
<b>2 Sept</b>	42.357	b	0.546	a	168.617	a	11.843	a	1984.690	a	80.982	b	0.481	a
<b>Media</b>	40.238		0.424		140.108		7.740		1561.708		102.333		0.401	
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	3.347		0.046		12.772		0.669		153.180		7.404		0.036	

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PHOTO= Asimilación de CO<sub>2</sub>; COND= Conductancia estomática; CI= Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular; TRMMOL= Transpiración; PARo= Radiación fotosintéticamente activa externa; EUA= Uso eficiente del agua; CE= Eficiencia de carboxilación.



Caviglia *et al.* (2007) mencionan que en maíz, la cantidad total de radiación interceptada en cada uno de los estadios evaluados, varió tanto por efecto de la densidad de siembra como por la dosis de nitrógeno.

La conductancia estomática que indica la apertura de los estomas al momento de tomar la lectura, fue mayor en la medición del 2 de septiembre, reflejándose en un mayor CI ( $168.617 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$ ), aun así, no se obtuvo la mayor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  ( $42.357 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Los resultados indican que mayor eficiencia del mesófilo se logró en la fecha del 26 de agosto, ya que se obtuvo la mayor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  ( $47.272 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) con una conductancia intermedia ( $0.446 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Mayor transpiración (TRMMOL) se observó en la tercera medición (2 sept) con  $11.843 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , posiblemente como resultado de una mayor apertura estomática y liberación de agua, por efecto de la mayor radiación fotosintéticamente activa ( $1984.690 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Por otra parte, la menor tasa de transpiración se observó en la segunda medición (28 agosto) con  $3.92 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , resultado de una menor conductancia estomática.

En lo que respecta al uso eficiente del agua (EUA), el valor más elevado se tuvo el día 28 de agosto, siendo esta misma fecha la que tuvo el valor más bajo de asimilación de  $\text{CO}_2$  y menor conductancia, lo que resultó con una mayor eficiencia de la planta al usar el agua, no obstante hay que remarcar que estos

niveles pudieron ser influenciados por la menor radiación presente ese día. Caviglia y Sadras (2001), mencionan que el EUA estuvo influenciado por las variaciones que se produjeron en la eficiencia de la radiación.

En el Cuadro 4.3 se muestra el comportamiento entre las dosis de fertilización, donde la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> tuvo medias similares entre la dosis sin la aplicación de fertilizante (41.332  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y con la dosis de 60-60-60 (42.113  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), y ambas superiores estadísticamente a la dosis de 120-60-60 (37.271  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Lo anterior indica que la variedad en estudio no requiere de la aplicación de nitrógeno para ser eficiente en la actividad del mesófilo. Caviglia *et al.* (2007), encontraron que la mayor cantidad de radiación interceptada (590 MJ m<sup>-2</sup>) y la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> en el cultivo de maíz se presentó a 200 UN ha<sup>-1</sup> en comparación a 00, 50 y 100 unidades de nitrógeno, independientemente de la densidad de siembra.

El resto de las variables no mostraron diferencias tan marcadas como la asimilación de CO<sub>2</sub> entre las dosis de fertilización. Sin embargo, las variables PHOTO, COND y CI se observa que sin la aplicación de nitrógeno se tiene mayor eficiencia del mesófilo, debido a que presenta un valor alto de asimilación de CO<sub>2</sub>, con una conductancia intermedia y el menor valor en la contracción de CO<sub>2</sub> intercelular (134.711  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$ ). La mayor transpiración se observó con la dosis intermedia (60-60-60), debido posiblemente a la mayor conductancia estomática (0.457 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

**Cuadro 4.3.** Comparación de medias de las dosis de fertilización para variables relacionadas con la asimilación de CO<sub>2</sub>.

DOSIS DE FERTILIZACIÓN	PHOTO μmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	COND mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	CI μmol CO <sub>2</sub> mol aire <sup>-1</sup>	TRMMOL mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	PARo μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	EUA μmolCO <sub>2</sub> molH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>	CE
<b>F 00-00-00</b>	41.332 a	0.426 ab	134.711 b	7.778 ab	1661.250 a	103.124	0.384 b
<b>F 60-60-00</b>	42.113 a	0.457 a	148.914 a	8.229 a	1570.670 b	99.071	0.425 a
<b>F 120-60-60</b>	37.271 b	0.388 b	136.701 ab	7.215 b	1453.210 b	104.807	0.390 ab
<b>Media</b>	40.238	0.424	140.108	7.740	1561.708	102.333	0.400
<b>Tukey (α = 0.05)</b>	3.347	0.046	12.772	0.669	153.180	7.404	0.036

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PHOTO= Asimilación de CO<sub>2</sub>; COND= Conductancia estomática; CI= Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular; TRMMOL= Transpiración; PARo= Radiación fotosintéticamente activa externa; EUA= Uso eficiente del agua; CE= Eficiencia de carboxilación.

**Cuadro 4.4.** Comparación de medias de la forma de producción para variables relacionadas con la asimilación de CO<sub>2</sub>.

FORMA DE PRODUCCIÓN	PHOTO μmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-2</sup>	COND molH <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	CI μmolCO <sub>2</sub> mol aire <sup>-1</sup>	TRMMOL mmolH <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	PARo μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	EUA μmolCO <sub>2</sub> mol H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>	CE
<b>Hembra</b>	41.704 a	0.443 a	144.657 a	7.938	1581.420	99.479 b	0.413 a
<b>Macho</b>	38.773 b	0.404 b	135.560 b	7.542	1542.000	105.189 a	0.387 b
<b>Media</b>	40.238	0.424	140.108	7.740	1561.700	102.333	0.400
<b>Tukey (α = 0.05)</b>	2.282	0.031	8.708	0.456	104.440	5.048	0.024

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PHOTO= Asimilación de CO<sub>2</sub>; COND= Conductancia estomática; CI= Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular; TRMMOL= Transpiración; PARo= Radiación fotosintéticamente activa externa; EUA= Uso eficiente del agua; CE= Eficiencia de carboxilación.

La forma de producción (hembra o macho), presentó diferencias entre sus medias en la variable asimilación de CO<sub>2</sub> (PHOTO), ya que las plantas hembra (desespigadas) mostraron una media mayor a las plantas que fungieron como macho (Cuadro 4.4). Lo anterior se puede explicar, si se considera que las plantas hembra tuvieron una mayor captación de luz por la ausencia de la espiga, además de que no gastaron energía en el desarrollo y crecimiento de la parte floral masculina (espiga).

Al respecto, Sinoquet y Caldwell (1995) mencionan que entre especies que posean vías bioquímicas similares para la fotosíntesis, tienen diferencias en la actividad fotosintética durante su crecimiento y desarrollo, atribuyéndose esto a las diferentes características anatómicas y propiedades ópticas que presentan los follajes en las plantas.

La conductancia (COND), la concentración de CO<sub>2</sub> intercelular (CI) y la eficiencia de carboxilación (CE), presentaron diferencias en la forma de producción, con valores más altos en los surcos hembra (0.443 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 144.657 μmol CO<sub>2</sub> mol aire<sup>-1</sup>, 0.413, respectivamente). La mayor CI se debió a una mayor COND, por efecto de la apertura de los estomas y la entrada de CO<sub>2</sub> al mesófilo de la hoja. Mientras que la eficiencia en el uso del agua (EUA), tuvo valores más altos en los surcos machos (105.189 μmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>).

En el Cuadro 4.5, se muestra el comportamiento de la última variable estimada en campo, que fue el rendimiento promedio por hectárea, donde el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) sólo en dosis de fertilización y densidades de población.

**Cuadro 4.5.** Cuadrados medios del análisis de varianza para el rendimiento de grano.

<b>FUENTE DE VARAICIÓN</b>	<b>GL</b>	<b>RENDIMIENTO</b> <b>t ha<sup>-1</sup></b>
<b>Fertilización (F)</b>	2	23.002 **
<b>Densidades (D)</b>	2	18.004 **
<b>F x D</b>	4	1.745
<b>Producción (P)</b>	1	0.554
<b>F x P</b>	2	0.978
<b>D x P</b>	2	0.650
<b>F x D x P</b>	4	1.417
<b>Error</b>	126	0.744
<b>C.V.</b>		13.097

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; GL = Grados de libertad; C.V.= Coeficiente de variación.

En la comparación de medias para las dosis de fertilización, se observó un comportamiento gradual, entre esta fuente de variación y el rendimiento ya que a mayor dosis de fertilización mayor fue el producto obtenido por superficie (Cuadro 4.6). Las plantas de la variedad JAGUAN responden positivamente a la fertilización ya que entre más nutrientes tenga disponibles mayor producción de grano va a obtener.

**Cuadro 4.6.** Comparación de medias por dosis de fertilización para rendimiento.

DOSIS DE FERTILIZACIÓN	RENDIMIENTO t ha <sup>-1</sup>	
F 00-00-00	5.9406	c
F 60-60-00	6.5066	b
F 120-60-60	7.3179	a
<b>Media</b>	6.5883	
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	0.4177	

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

El nitrógeno (N) es el nutriente del suelo más limitante para la producción agropecuaria del cultivo de maíz (Echeverría y Sainz, 2006). Los requerimientos nutricionales de las estructuras reproductivas durante el llenado de granos son satisfechos por absorción de N durante este período y por removilización del mismo desde estructuras vegetativas, siendo esta última mayor cuando existen deficiencias de N (Uhart y Andrade, 1995). También Mendoza *et al.* (2006), trabajando con tres dosis de fertilización nitrogenada (0, 100 y 200 kg ha<sup>-1</sup>) en maíz, determinaron que la máxima productividad de grano se alcanzó con la dosis mayor. Por su parte Masino *et al.* (2010) al realizar una evaluación con diferentes dosis de nitrógeno (0 a 160 UN) en el mismo cultivo, encontraron que la mejor dosis de fertilización para rendimiento fue con 120 UN, con un rendimiento promedio de 12.478 t ha<sup>-1</sup> en la zona de Isla Verde en la provincia de Córdoba en Argentina. Mientras que Cano *et al.* (2001), encontraron que una dosis de fertilización con 184 unidades de nitrógeno, fue la que presentó el mayor rendimiento con 6.5 t ha<sup>-1</sup>, en comparación a las dosis con 161 y 207 UN todo esto bajo condiciones de temporal en el estado de Veracruz.

También las densidades de población juegan un papel importante en el rendimiento, ya que la intercepción de luz (fotosíntesis) esta directamente correlacionada con la producción, aunque también hay ciertas variedades o híbridos que soportan altas densidades. Como se puede apreciar en el Cuadro 4.7, la variedad JAGUAN responde favorablemente a las densidad de población, para la obtención de una mayor producción por superficie.

**Cuadro 4.7.** Comparación de medias del rendimiento por densidades de población.

DENSIDADES DE POBLACIÓN	RENDIMIENTO t ha <sup>-1</sup>
P 40 mil plantas	5.9969 c
P 50 mil plantas	6.5483 b
P 60 mil plantas	7.2199 a
<b>Media</b>	6.5883
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	0.4177

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Algunos estudios describen que el incremento de la densidad de población conduce a una disminución en el uso eficiente de la radiación solar, el cual puede afectar significativamente a la producción y calidad del grano del maíz (Purcell *et al.*, 2002).

De la Cruz *et al.* (2009) al realizar un estudio con nueve genotipos de maíz bajo tres densidades de población (44,289, 53,200 y 66,500 plantas ha<sup>-1</sup>)

encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre densidades, presentándose el mayor rendimiento,  $4.251 \text{ t ha}^{-1}$  con en el mayor número de plantas, en tanto que el menor rendimiento lo tuvo la densidad más baja. Por su parte Cano *et al.* (2001), llevaron a cabo una investigación entre genotipos de maíz bajo condiciones de temporal y con densidades de población, donde no tuvieron diferencias significativas para rendimiento de grano entre poblaciones manejadas, aunque se encontró que el mayor rendimiento ( $6.29 \text{ t ha}^{-1}$ ) se obtuvo con  $62,500 \text{ plantas ha}^{-1}$ , mientras que el menor rendimiento lo presentó la densidad mayor ( $125,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ ).

Carrera y Cervantes (2006) trabajando con cruza simples de materiales provenientes de germoplasma tropical y subtropical, encontraron que las densidades de población (60, 70 y 80 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) no tuvieron diferencias significativas. Sin embargo, la densidad intermedia (70 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) fue la que mostró el mayor rendimiento ( $8.6 \text{ t ha}^{-1}$ ) quedando la densidad más baja con el rendimiento menor de  $8.0 \text{ t ha}^{-1}$ . Otros trabajos de Widdicombe y Thelen (2002) demuestran que el mayor rendimiento de maíz se tiene con densidades de  $90,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ , aunque también destacó la interacción densidad por genotipo. Mencionan que las densidades de población altas disminuyen la eficiencia de uso de la radiación que, junto con la ausencia de efectos estadísticos respecto a la aplicación de N, pudo haber decrecido el nitrógeno foliar y, como consecuencia, la producción y la misma calidad del grano.



La forma de producción no mostró diferencias estadísticas para la variable rendimiento, siendo las plantas hembra (desespigadas) las que tuvieron un mayor rendimiento. Lo anterior puede deberse a que la energía destinada al desarrollo de la espiga (plantas hembras) se desvió hacia el desarrollo del grano, además por efectos genéticos a la formación de la variedad JAGUAN. Sin embargo, en campo las dos formas de producción (hembra y macho) se establecieron con las mismas densidades de población y nutrición, esto posiblemente ayudó a tener un comportamiento similar, por ello es que no observaron diferencias estadísticas (Cuadro 4.8).

**Cuadro 4.8.** Medias para la forma de producción en el rendimiento.

FORMA DE PRODUCCIÓN	RENDIMIENTO t ha <sup>-1</sup>
Hembra	6.6504
Macho	6.5263
Media	6.5883
Tukey ( $\alpha = 0.05$ )	0.2846

Macchi *et al.* (2010) trabajaron con la población de maíz denominada JAGUAN, mediante el uso de estrategias del fitomejoramiento, encontraron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) para la forma de producción en la primera generación (Tepalcingo, Morelos) y diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en la segunda generación (El Mezquite, Galeana N.L.) en el rendimiento de grano, siendo superior la población macho en las dos generación con 5.527 y 6.298 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## **Estudio II. Caracterización física de mazorca y semilla**

Las características de una variedad son importantes para observar la variación que sufre cuando se someten a condiciones de manejo agronómico. Sin embargo, en este estudio se pretendió observar la respuesta bajo diferentes manejos de producción. Las características cuantitativas de cualquier cultivar están determinadas por caracteres genéticos y son influenciadas por el manejo agronómico. Giraldo (2009) menciona que estos caracteres están controlados por genes múltiples, además pueden estar influenciados por factores ambientales en grado variable.

En el Cuadro 4.9 se observa que las dosis de fertilización presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para las variables, granos por hilera (GHIL), longitud del grano (LG), peso de la semilla (PSEM) y diferencias ( $P \leq 0.01$ ) para longitud de mazorca (LMAZ). En tanto que, las densidades de población y la forma de producción no influyeron en las características de la mazorca, posiblemente se debió al muestreo realizado en campo, ya que se tomaron cinco mazorcas enteras y representativas de cada unidad experimental y con ello se elimina posibles diferencias entre las variables evaluadas.

**Cuadro 4.9.** Cuadrados medios del análisis de varianza para variables de la descripción de las mazorcas.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	HIL	GHIL	LMAZ	DMAZ	LG	AG	EG	PSEM	DIMOLO	PMILS	DES			
<b>Fertilización (F)</b>	2	3.677	18.633	14.161	**	0.117	0.032	*	0.002	0.0002	2127.549	*	0.0406	757.990	3.049
<b>Densidades (D)</b>	2	1.744	8.808	2.667		0.048	0.002		0.002	0.0009	105.278		0.0454	2065.452	1.209
<b>F x D</b>	4	3.661	4.916	0.630		0.138	0.022	*	0.002	0.0021	787.742		0.0203	978.338	7.508
<b>Producción (P)</b>	1	4.011	12.469	2.193		0.050	0.007		0.002	0.0005	755.479		0.0003	12.799	9.771
<b>F x P</b>	2	1.411	9.377	2.774		0.007	0.001		0.002	0.0031	88.333		0.0156	885.437	2.354
<b>D x P</b>	2	1.944	13.202	1.698		0.021	0.006		0.007	0.0003	523.038		0.0102	883.304	1.459
<b>F x D x P</b>	4	5.694	1.661	0.457		0.081	0.002		0.003	0.0001	382.958		0.0173	392.615	6.323
<b>Error</b>	342	2.868	5.912	1.557		0.065	0.008		0.004	0.001	502.849		0.0420	1493.056	5.946
<b>C.V.</b>		11.676	7.246	8.565		5.878	7.382		8.231	8.623	16.286		8.619	13.613	2.806

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; GL = Grados de libertad; HIL = Número de hileras; GHIL = Granos por hilera; LMAZ = Longitud de Mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LG = Longitud del grano; AG = Ancho del grano; EG = Espesor del grano; PSEM = Peso del grano; DIMOLO = Diámetro del olote; PMILS = Peso de mil semillas; DES = Porcentaje de desgranado.

**Cuadro 4.10.** Comparación de medias por dosis de fertilización para variables de la descripción de las mazorcas.

DOSIS DE FERTILIZACIÓN	HIL	GHIL	LMAZ	DMAZ	LG	AG	EG	PSEM	DIMOLO	PMILS	DES			
			cm	cm	cm	cm	cm	g	cm	g	%			
<b>F 00-00-00</b>	14.333	33.275	14.595	ab	4.356	1.224	ab	0.799	0.388	136.786	ab	2.370	285.899	87.041
<b>F 60-60-00</b>	14.500	33.391	14.216	b	4.348	1.199	b	0.795	0.388	134.006	b	2.380	281.048	86.735
<b>F 120-60-60</b>	14.683	34.008	14.902	a	4.405	1.229	a	0.789	0.385	142.280	a	2.406	284.614	86.965
<b>Media</b>	14.505	33.558	14.571		4.370	1.217		0.795	0.387	137.690		2.386	283.853	86.914
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	0.514	0.738	0.379		0.078	0.027		0.019	0.011	6.814		0.062	11.743	0.741

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); HIL = Número de hileras; GHIL = Granos por hilera; LMAZ = Longitud de Mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LG = Longitud del grano; AG = Ancho del grano; EG = Espesor del grano; PSEM = Peso del grano; DIMOLO = Diámetro del olote; PMILS = Peso de mil semillas; DES = Porcentaje de desgranado.

Las medias obtenidas entre las dosis de fertilización para las variables longitud de mazorca (LMAZ), longitud del grano (LG) y peso de semillas (PSEM), mostrando que la dosis de 120-60-60 superó numéricamente a la dosis de 60-60-60, más no así al testigo (00-00-00), esto puede atribuirse al muestreo realizado en campo. En el resto de las variables no presentaron diferencias entre las medias posiblemente por efecto del muestreo en campo (Cuadro 4.10).

Masino *et al.* (2010) establecieron un estudio en maíz para evaluar el comportamiento de diferentes dosis de fertilización, desde 0 a 160 UN, en el rendimiento y otras variables. Las muestras se tomaron al azar dentro de las unidades experimentales y el rendimiento se estimó mediante la cosecha mecánica con un trilladora múltiple John Deere 1175, no encontrando, diferencias significativas entre las dosis de fertilización. Sin embargo, observaron que entre mayor sean las dosis, mayor es la respuesta para granos por hilera, número de granos por mazorca, peso de mil semillas y el rendimiento por hectárea, mientras que la dosis de 40 UN presentó el mayor número de hileras en la mazorca.

Las densidades de población utilizadas en campo no influyeron en las características físicas de la mazorca y semilla, ya que no se observaron

diferencias entre el comportamiento de las medias. La ausencia de diferencias puede deberse también al tipo de muestreo realizado en campo (Cuadro 4.11).

Obregón y Oviedo (2004) realizaron un estudio de maíz con la variedad denominada "TLAYOLLY" bajo tres densidades de población (35, 50 y 62.5 mil plantas ha<sup>-1</sup>), encontrando que el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para el peso y la longitud de la mazorca, siendo la densidad menor la que presentó los valores superiores, mientras que en la longitud del grano y peso de mil semillas no se encontraron diferencias significativas, en este estudio se utilizaron 15 mazorcas al azar. Mientras que Martínez *et al.* (2005), trabajando con líneas de maíz bajo dos densidades de población (83 y 62.5 mil plantas ha<sup>-1</sup>) determinaron que no hay diferencias significativas para longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras, granos por hileras, peso de mazorca y semillas por mazorca, además para rendimiento por superficie.

**Cuadro 4.11.** Medias por densidades de población para variables de la descripción de las mazorcas.

DENSIDADES DE POBLACIÓN	HIL	GHIL	LMAZ	DMAZ	LG	AG	EG	PSEM	DIMOLO	PMILS	DES
			cm	cm	cm	cm	cm	g	cm	g	%
<b>P 40 mil plantas</b>	14.566	33.866	14.728	4.363	1.219	0.791	0.385	138.384	2.367	280.958	86.936
<b>P 50 mil plantas</b>	14.583	33.358	14.554	4.354	1.213	0.793	0.390	136.625	2.406	281.997	86.804
<b>P 60 mil plantas</b>	14.366	33.450	14.431	4.392	1.220	0.800	0.386	138.063	2.384	288.607	87.002
<b>Media</b>	14.505	33.558	14.571	4.370	1.217	0.795	0.387	137.690	2.386	283.853	86.914
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	0.514	0.738	0.379	0.078	0.027	0.019	0.010	6.814	0.062	11.743	0.741

HIL = Número de hileras; GHIL = Granos por hilera; LMAZ = Longitud de Mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LG = Longitud del grano; AG = Ancho del grano; EG = Espesor del grano; PSEM = Peso del grano; DIMOLO = Diámetro del olote; PMILS = Peso de mil semillas; DES = Porcentaje de desgranado.

**Cuadro 4.12.** Medias para la forma de producción en las variables de la descripción de las mazorcas.

FORMA DE PRODUCCIÓN	HIL	GHIL	LMAZ	DMAZ	LG	AG	EG	PSEM	DIMOLO	PMILS	DES
			cm	cm	cm	cm	cm	g	cm	g	%
<b>Hembra</b>	14.611	33.372	14.493	4.381	1.222	0.792	0.386	136.242	2.387	283.665	86.749
<b>Macho</b>	14.400	33.744	14.649	4.358	1.213	0.797	0.388	139.139	2.385	284.042	87.079
<b>Media</b>	14.505	33.558	14.571	4.370	1.217	0.795	0.387	137.690	2.386	283.853	86.914
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	0.351	0.504	0.258	0.053	0.018	0.013	0.007	4.649	0.042	8.011	0.505

HIL = Número de hileras; GHIL = Granos por hilera; LMAZ = Longitud de Mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LG = Longitud del grano; AG = Ancho del grano; EG = Espesor del grano; PSEM = Peso del grano; DIMOLO = Diámetro del olote; PMILS = Peso de mil semillas; DES = Porcentaje de desgranado.

La forma de producción no tuvo efecto sobre las características de la mazorca y semilla, ya que no se presentaron diferencias entre las medias, debiéndose posiblemente al muestreo realizado en campo (Cuadro 4.12).

### **Estudio III. Propiedades físicas**

Conocer las propiedades físicas del grano es importante, ya que dependiendo de ellas es el uso final que se da. Dos de las principales propiedades físicas más importantes, son el índice de flotación y el peso volumétrico.

Al analizar las propiedades físicas del grano, se observó diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre las dosis de fertilización y la interacción entre estas con las densidades de población, además de presentar diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en las interacciones de las dosis de fertilización con la forma de producción y estas dos fuentes de variación con las densidades de población ( $F \times D \times P$ ), mientras que el peso volumétrico sólo tuvo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para las dosis de fertilización y su interacción con las densidades de población. Por su parte la forma de producción sólo presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para el índice de flotación (Cuadro 4.13).

**Cuadro 4.13.** Cuadrados medios del análisis de varianza con las variables de propiedades físicas.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	ÍNDICE DE FLOTACIÓN		PESO VOLUMÉTRICO	
			%		kg hL <sup>-1</sup>
<b>Fertilización (F)</b>	2	2067.881	**	1069.605	*
<b>Densidades (D)</b>	2	254.715		134.265	
<b>F x D</b>	4	749.423	**	810.517	*
<b>Producción (P)</b>	1	1736.111	**	458.673	
<b>F x P</b>	2	540.465	*	82.556	
<b>D x P</b>	2	67.798		44.828	
<b>F x D x P</b>	4	461.465	*	490.120	
<b>Error</b>	126	173.750		247.614	
<b>C.V.</b>		59.991		1.989	

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; C.V.= Coeficiente de variación.

En el Cuadro 4.14 se muestra que la dosis intermedia (60-60-60) es la que tiene la media más alta para índice de flotación (29.333) y el menor peso volumétrico (78.590 kg hL<sup>-1</sup>), mientras que la dosis sin fertilización y la dosis más elevada en nitrógeno (120-60-60) presentaron medias similares para las dos propiedades físicas.

**Cuadro 4.14.** Comparación de medias por dosis de fertilización para las propiedades físicas.

DOSIS DE FERTILIZACIÓN	ÍNDICE DE FLOTACIÓN		PESO VOLUMÉTRICO	
		%		kg hL <sup>-1</sup>
<b>F 00-00-00</b>	16.729	b	79.528	a
<b>F 60-60-00</b>	29.333	a	78.590	b
<b>F 120-60-60</b>	19.854	b	79.148	ab
<b>Media</b>	21.972		79.089	
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	6.381		7.618	

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).



Las propiedades físicas son muy influenciadas por las condiciones climáticas y el manejo agronómico dado durante el desarrollo del cultivar, al respecto Zepeda *et al.* (2007) concuerdan con lo anterior, ya que en especial la nutrición modifica la estructura y composición del grano de maíz. Aunado a lo anterior Cirilo (2003) menciona que la dureza del grano también puede presentar una importante variación en respuesta a las modificaciones impuestas en el ambiente de producción.

Zepeda *et al.* (2007) trabajando con diez híbridos de maíz bajo dos dosis de fertilización (150 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>) obtuvieron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) entre las dosis para el índice de flotación, mientras que para el peso volumétrico no encontraron dichas diferencias. La dosis más baja de nitrógeno (150 kg N) fue la que presentó el mayor índice de flotación en comparación con la dosis más elevada (300 kg N) (78.14 y 78.00 kg hL<sup>-1</sup> respectivamente) mientras que ésta fue la que tuvo el menor peso volumétrico.

En este estudio las densidades de población no tuvieron influencia sobre las propiedades físicas del grano, ya que las medias obtenidas no mostraron diferencias (Cuadro 4.15).

**Cuadro 4.15.** Medias por densidades de población para las propiedades físicas.

DENSIDADES DE POBLACIÓN	ÍNDICE DE FLOTACIÓN %	PESO VOLUMÉTRICO kg hL <sup>-1</sup>
P 40 mil plantas	23.271	78.903
P 50 mil plantas	19.313	79.135
P 60 mil plantas	23.333	79.228
<b>Media</b>	21.972	79.0890
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	6.381	7.618

Balbi *et al.* (2009) trabajando con dos híbridos de maíz flint utilizados para la industria cervecera bajo dos densidades de población (58 y 75 mil plantas ha<sup>-1</sup>) en el Noreste de Argentina, obtuvieron que el índice de flotación aumentó conforme se incrementó la densidad de población. Por su parte Cirilo (2003) manejando dos densidades de población (75 y 90 mil plantas ha<sup>-1</sup>) encontró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) entre poblaciones, teniendo los valores más elevados con la densidad mayor.

Virgen *et al.* (2010) estudiando siete cruza simples progenitoras de híbridos comerciales del INIFAP bajo dos densidades de población (62 y 83 mil plantas ha<sup>-1</sup>), encontraron que no hay diferencias significativas entre las densidades para peso volumétrico siendo la población de menor densidad la que tuvo el mayor peso con 70.08 kg hL<sup>-1</sup>. Por su parte Cirilo (2003) manejando dos densidades de población (75 y 90 mil plantas ha<sup>-1</sup>), no encontró diferencias estadísticas entre las dos poblaciones, sin embargo entre mayor fue la densidad mayor fue el peso. También Gutiérrez *et al.* (2006), realizando un estudio con

cuatro variedades de maíz bajo tres densidades de población (53,571, 62,500 y 75,000 plantas ha<sup>-1</sup>), determinaron que no hay diferencias significativas para peso volumétrico. Sin embargo, la densidad menor fue la que presentó el mayor peso con 74.45 kg hL<sup>-1</sup>.

En el presente estudio, la forma de producción mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ), entre las plantas designadas como hembra y como macho para el índice de flotación (Cuadro 4.16).

**Cuadro 4.16.** Comparación de medias para la forma de producción para propiedades físicas.

FORMA DE PRODUCCIÓN	ÍNDICE DE FLOTACIÓN %	PESO VOLUMÉTRICO kg hL <sup>-1</sup>
<b>Hembra</b>	25.444 a	78.910
<b>Macho</b>	18.500 b	79.267
<b>Media</b>	21.972	79.089
<b>Tukey (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	4.347	5.190

Medias con letras diferentes dentro de cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05)

Los surcos macho tuvieron la menor media de índice de flotación y el mayor en peso volumétrico. Sin embargo, tanto la semilla que provino de surcos hembra como de macho se clasifica como dura.

## Análisis de correlación

En el Cuadro 4.17 se muestran los coeficientes de correlación entre las variables del estudio de asimilación de CO<sub>2</sub>, la caracterización y las propiedades físicas.

En las propiedades físicas del grano se tuvo un coeficiente de correlación negativo (- 0.583\*\*), entre el índice de flotación y el peso volumétrico. En este sentido, Zepeda *et al.* (2007) y Vázquez *et al.* (2003), encontraron coeficientes de correlación negativos (- 0.89\*\* y - 0.74\*\*, respectivamente) entre estas dos variables. Sin embargo, ninguna de las dos variables mostró alguna correlación con el rendimiento de grano. Por su parte, sólo el peso volumétrico (PV) presentó dos correlaciones bajas y de manera positiva, con el número de granos por hilera (GHIL) (0.174\*) y la longitud de la mazorca (LMAZ) (0.164\*). Gutiérrez *et al.* (2006) obtuvieron un coeficiente de correlación positivo y significativo (0.164\*), entre el PV y LMAZ. Además, el índice de flotación presentó un coeficiente de correlación de 0.362\*\* con el CI y con la CE. Lo anterior indica que al incrementarse la eficiencia en el mesófilo (valores altos de CI) se reduce el índice de flotación.

En la descripción de las mazorcas y de la semilla se tuvieron diversas correlaciones entre las variables analizadas. Las correlaciones principales, se

**Cuadro 4.17. Coeficientes de correlación entre las diferentes variables evaluadas en el trabajo de investigación.**

	PVOL	HIL	GHIL	LMAZ	DMAZ	LG	AG	EG	PSEM	DIMOLO	PMILS	DES	PHOTO	COND	CI	TRMMOL	PARo	EUA	CE	REND
FLOT	<b>-0.583**</b>	-0.094	-0.132	-0.151	0.024	-0.061	0.077	-0.031	-0.150	-0.036	-0.038	-0.082	-0.040	0.024	<b>0.362**</b>	0.024	-0.204	-0.173	<b>0.362**</b>	-0.085
PVOL		-0.029	<b>0.174*</b>	<b>0.164*</b>	-0.068	0.063	0.040	-0.118	0.098	-0.051	-0.004	0.097	-0.159	-0.157	-0.113	-0.143	-0.083	0.071	-0.113	0.010
HIL			-0.026	-0.016	<b>0.486**</b>	<b>0.221**</b>	<b>-0.710**</b>	-0.046	<b>0.312**</b>	<b>0.334**</b>	<b>-0.300**</b>	-0.025	0.016	-0.008	-0.006	0.011	0.171	0.103	-0.006	0.012
GHIL				<b>0.576**</b>	-0.002	0.094	-0.037	<b>-0.264**</b>	<b>0.387**</b>	-0.098	-0.100	0.088	-0.130	-0.112	0.079	-0.197	-0.121	-0.015	0.080	0.001
LMAZ					0.098	0.063	<b>0.134*</b>	<b>0.266**</b>	<b>0.572**</b>	0.078	<b>0.276**</b>	-0.068	-0.005	0.061	0.169	-0.032	-0.030	-0.199	0.169	0.059
DMAZ						<b>0.561**</b>	0.010	0.006	<b>0.677**</b>	<b>0.536**</b>	<b>0.353**</b>	-0.010	-0.034	-0.029	-0.117	0.048	0.076	0.052	-0.117	<b>0.248**</b>
LG							0.021	<b>-0.211**</b>	<b>0.656**</b>	-0.073	<b>0.469**</b>	<b>0.537**</b>	0.098	0.118	0.071	0.085	0.068	-0.119	0.071	<b>0.166*</b>
AG								<b>0.106*</b>	0.057	0.082	<b>0.589**</b>	-0.060	-0.033	0.017	-0.070	0.051	-0.124	-0.075	-0.071	0.079
EG									0.890	<b>0.184**</b>	<b>0.406**</b>	<b>-0.225**</b>	0.042	0.118	0.121	0.154	0.093	-0.176	0.121	0.027
PSEM										<b>0.224**</b>	<b>0.581**</b>	<b>0.281**</b>	-0.003	0.084	0.109	0.047	0.034	-0.205	0.109	<b>0.276**</b>
DIMOLO											0.075	<b>-0.522**</b>	-0.192	-0.224	-0.202	-0.119	0.068	0.209	-0.201	0.106
PMILS												<b>0.212**</b>	0.053	0.136	0.026	0.133	0.004	<b>-0.239*</b>	0.026	<b>0.336**</b>
DES													0.214	0.192	0.069	0.133	0.138	-0.099	0.069	0.076
PHOTO														<b>0.797**</b>	0.059	<b>0.656**</b>	<b>0.786**</b>	<b>-0.322**</b>	0.060	0.114
COND															<b>0.519**</b>	<b>0.898**</b>	<b>0.745**</b>	<b>-0.769**</b>	<b>0.519**</b>	0.089
CI																<b>0.507**</b>	<b>0.185**</b>	<b>-0.839**</b>	<b>1.000**</b>	-0.092
TRMMOL																	<b>0.798**</b>	<b>-0.737**</b>	<b>0.507**</b>	0.102
PARo																		<b>-0.433**</b>	<b>0.186**</b>	0.199
EUA																			<b>-0.839**</b>	-0.019
CE																				-0.092

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; FLOT = índice de flotación; PVOL = Peso volumétrico; HIL = Número de hileras; GHIL = Granos por hilera; LMAZ = Longitud de Mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LG = Longitud del grano; AG = Ancho del grano; EG = Espesor del grano; PSEM = Peso del grano; DIMOLO = Diámetro del olote; PMILS = Peso de mil semillas; DES = Porcentaje de desgrane; PHOTO= Asimilación de CO<sub>2</sub>; COND= Conductancia estomática; CI= Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular; TRMMOL= Transpiración; PARo= Radiación fotosintéticamente activa externa; EUA= Uso eficiente del agua; CE= Eficiencia de carboxilación; REND = Rendimiento.

observaron entre las variables que se correlacionaron con el rendimiento de grano. Mientras que todas las variables analizadas para la descripción de las mazorcas y la semilla, no tuvieron correlación con las variables relacionadas a la asimilación de CO<sub>2</sub>, a excepción del peso de mil semillas (PMILS) que presentó una correlación negativa (- 0.239\*) con el uso eficiente del agua.

El diámetro de la mazorca (DMAZ) se correlacionó positivamente con peso de semilla (PSEM) (0.677\*\*), longitud del grano (LG) (0.561\*\*), diámetro del olote (DIMOLO) (0.536\*\*) y peso de mil semillas (PMILS) (0.353\*\*), además con el rendimiento de grano (0.248\*\*). Viera (2004) y Wong *et al.* (2007) encontraron coeficientes de correlación de 0.79\*\* y 0.65\*\*, respectivamente, entre el DMAZ y el rendimiento de grano.

La longitud del grano presentó correlación con el peso de semilla (PSEM) (0.656\*\*), porcentaje de desgrane (DES) (0.537\*\*), peso de mil semillas (PMILS) (0.469\*\*) y espesor del grano (EG) (- 0.211\*\*), en tanto que, con el rendimiento la correlación fue de 0.166\*. Al respecto Vázquez *et al.* (2003), obtuvieron un valor de correlación de 0.31\*\* entre la LG y el rendimiento de grano.

El peso de semilla mostró correlaciones con el peso de mil semillas (PMILS) (0.581\*\*), porcentaje de desgrane (DES) (0.281\*\*), diámetro del olote (DIMOLO) (0.224\*\*) y con el rendimiento de grano (0.276\*\*).

El peso de mil semillas presentó correlaciones bajas con el porcentaje de desgrane (DES) (0.212\*\*) y el rendimiento (0.336\*\*). Wong *et al.* (2007) y Viera (2004), encontraron una correlación entre el PMILS y el rendimiento (0.31\*\* y 0.71\*, respectivamente).

Las variables determinadas en el metabolismo de la asimilación de CO<sub>2</sub> sólo se correlacionaron entre sí mismas, ya que no se presentó alguna correlación con el rendimiento de grano.

La asimilación de CO<sub>2</sub> presentó correlación con la conductancia estomática (COND) (0.797\*\*), la transpiración (TRMMOL) (0.656\*\*), la radiación fotosintéticamente activa (PARo) (0.786\*\*) y el uso eficiente del agua (EUA) (- 0.322\*\*), dejando ver que todas las variables estudiadas influyen de manera positiva o negativamente en la síntesis de fotosintatos (azúcares).

## V. CONCLUSIONES

En la variedad JAGUAN, para la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y las variables asociadas, no se encontró una respuesta asociada a las dosis de fertilización y densidades de población, lo indica que el metabolismo de la fotosíntesis en las plantas son independientes a estos factores.

Las dosis de fertilización y las densidades de población favorecieron de manera positiva y gradual al rendimiento de grano, ya que se obtuvo mayor producción de grano con la dosis más elevada (120-60-60) y la densidad de población mayor (60,000 plantas ha<sup>-1</sup>).

Los descriptores de la mazorca y de semilla no fueron influenciados por las dosis de fertilización ni por las densidades de población, debiéndose posiblemente al muestreo realizado al momento de la cosecha, ya que se tomaron 5 mazorcas enteras y representativas de cada unidad experimental.



Las propiedades físicas del grano (índice de flotación y peso volumétrico) fueron influenciadas por las dosis de fertilización, sin presentar una tendencia lógica con el aumento de nutrientes (dosis de fertilización). Por su parte las densidades de población no influyeron en ninguna de estas propiedades.

La forma de producción (hembra y macho) presentó influencia sobre la asimilación de CO<sub>2</sub>, donde los surcos hembra tuvieron el mayor nivel de asimilación (41.704  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-2}$ ). Mientras que, para el rendimiento y los descriptores de la mazorca y semilla, no influyó ninguna de las dos formas de producción.

Las correlaciones que se presentaron en el trabajo de investigación, dejaron ver una mínima correlación entre variables provenientes de la asimilación de CO<sub>2</sub> y atributos de la calidad física de la mazorca y semilla, además de no presentarse una correlación entre las variables de la asimilación de CO<sub>2</sub> con el rendimiento de grano.

## VI. LITERATURA CITADA

- Aguirrezábal L., A. N. y F. H. Andrade. 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Edición de la Facultad de Ciencias Agrarias y de la Estación Experimental Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires Argentina. 336 p.
- Aldape B., J. 1995. Fertilización nitrogenada y fosfórica de maíz criollo (*Zea mays*) variedad blanco olote colorado en riego y riego limitado, verano (1984), ejido San Rafael, Linares, N. L. Tesis de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Marín Nuevo León. 261 p.
- Almeida H., D. y L. W. Rooney. 1996. Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado. *Industria alimentaria* 18(6):4-13.
- Balbi C., O. Valentinuz, J. Prause, A. Cirilo. 2009. Resumen del Maíz Colorado Flint: Prácticas de Manejo y Calidad para Industria Cervecera. Comunicaciones científicas y tecnológicas 2009. Facultad de Ciencia Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina. CA-024. En línea: <http://www.unne.edu.ar/investigacion/com2009/CA024.pdf>. Fecha de consulta: 20 Febrero 2011.
- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. 2da Edición. Traducido por Cano, G.G. y M. Garcidueñas. A.G.T. Editor. 784 p.
- Cano O., O. H. Tosquy, M. Sierra, F. A. Rodríguez. 2001. Fertilización y densidad de población en genotipos de maíz cultivados bajo condiciones de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 12(2): 199-203.

- Carrera V., J. A. y T. Cervantes S. 2006. Respuesta de la densidad de población de cruza de maíz tropical y subtropical adaptadas a valles altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29 (4): 331 - 338.
- Caviglia, O. P. and V. O. Sadras, 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation use efficiency of wheat. *Field Crops Research* 69: 259-266.
- Caviglia, O. P., J. M. Melchiori, R., A. C. Kemerer, N. Van O., V. Gregorutti. 2007. Relaciones entre la eficiencia en el uso del nitrógeno y de la radiación en maíz. EEA Paraná. INTA. Paraná, Entre Ríos. AR. Serie extensión. EEA Paraná. No. 44. AR. pp. 7-12.
- Cirilo A., G. 2003. El manejo del cultivo y la calidad comercial de maíz colorado duro. Grupo Ecofisiología y Agrometeorología. Departamento de Producción Agrícola y Gestión Ambiental. INTA EEA Pergamino. Actualización Técnica. Maíz, Girasol y Sorgo. Serie Extensión nº 44. pp. 17-23.
- Cox W. J. 1996. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agron. J.* 88: 489-496.
- De la Cruz L., E., H. Córdova O., M. A. Estrada B., J. D. Mendoza P., A. Gómez V., N. P. Brito M. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y ciencia. Trópico húmedo.* 25 (1): 93-98.
- Echeverría, H. y H. Sainz R. 2006. Nitrógeno. *In:* H. E. Echeverría y F. O. García (eds.) *Fertilidad de Suelo y Fertilización de Cultivos.* Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 69-97.
- FAO (Food Agriculture Organization of the United Nations). 2009. Statistical databases. En línea: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=291&lang=es>. Consultado 07 de Marzo del 2011.

- Figueroa C., J. D., S. R. Mauricio, S. Taba, E. Morales, A. Mendoza, M. Gaytán, F. Rincón S., M. L. Reyes, J. J. Véles. 2005. Kernel characteristics and tortilla making quality of maize accessions from Mexico, the Caribbean, and South and Central America. *In*: S. Taba (ed). Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, *in situ* Conservation, Core Subsets, and Prebreeding. Proc. Workshop held at CIMMYT, April 7-10, 2003. México, D.F. CIMMYT. pp. 51-57.
- Financiera Rural. 2009. Monografía del maíz grano. Dirección general adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. En línea: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Ma%C3%ADz.pdf>. Fecha de consulta: 01 de Enero del 2011.
- Gaytán M., M. 2004. Evaluación y validación de métodos para la clasificación de calidad alimentaria en maíces criollos. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México. 144 p.
- Gil R., C. 2007. La siembra directa y la eficiencia del uso del agua. 4º Simposio de ganadería en siembra directa. Potreros de los Funes, San Luis. Instituto de Suelos, INTA Castelar. En línea: [http://www.produccionbovina.com/suelos\\_ganaderos/44-sd\\_y\\_uso\\_agua.pdf](http://www.produccionbovina.com/suelos_ganaderos/44-sd_y_uso_agua.pdf). Fecha de consulta: 01 Febrero 2011.
- Giraldo C., D. M. 2009. Animal Health. Capitulo IV. La Genética. Atlantic International University. pp. 159-180. En línea: <http://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/DAVID%20MOISES%20GIRALDO%20CANO.doc>. Fecha de consulta: 17 de Marzo 2011.
- Goodman M., M. and L. W. Brown. 1988. Races of corn. *In*: G.F. Sprague, J. W. Dudley (eds). Corn and corn improvement. ASA Monograph 18. ASA, Madison, Wisconsin. pp. 33-79.
- Gutiérrez R., F., A. Laguna C., R. Serrato C., I. Valencia B. 2006. Respuesta de cuatro variedades de maíz (*zea mays* l.) en tres densidades de población y cuatro métodos de labranza. Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (C.I.E.A.F.). Facultad de Ciencias

Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Agrícola, año 33, No. 3. pp. 9-15.

Jones G., H. 1992. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Second edition. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 428 p.

Lazcano F., I. 1997. Maximice la eficiencia de su fertilizante mediante curvas de absorción de N, P y K en maíz de grano. Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C. México y Norte de Centroamérica. Informaciones Agronómicas. Vol. 2, No. 3. pp.1-3.

López G., A. H., J. D. Figueroa C., A. Mendoza G., M. Gaytán J., J. Vélez M. 2004. Avances en la evaluación de la dureza en granos de maíz utilizando la técnica de ultrasonido. Cinvestav unidad Querétaro. Instituto politécnico nacional (IPN). *In*: Simposio de metrología del 25 al 27 de Octubre del 2004. Santiago de Querétaro, Querétaro, Mexico. pp. 1-4.

Macchi L., G., F. Rincón S., N. A. Ruiz T., 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.

Martínez L., C., L. E. Mendoza O., G. García de los S., Ma. C. Mendoza C., A. Martínez G. 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 28 (2): 127 – 133.

Masino, A., O. Madoery, B. Conde, A. Montechiari. 2010. Respuesta del cultivo de maíz a dosis crecientes de nitrógeno. Publicaciones monográficas. Maíz: actualización 2010; Proyectos Regional Producción Agrícola Sustentable. Ediciones INTA, 2010. pp. 57 - 60. (Informe de Actualización Técnica, No. 16) ISSN 1851-9245.

Mendoza E., M., C. Mosqueda V., J. A. Rangel L., A. López B., S. A. Rodríguez H., L. Latournerie M., E. Moreno M. 2006. Densidad de población y

fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. *Agric. Téc. Méx* v.32 n.1 pp. 89-99.

Montemayor T., J. A., A. Zermeño G., J. Olague R., R. Aldaco N., M. Fortis H., E. Salazar S., J. C. Rodríguez R. y C. Vázquez V. 2006. Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. *Revista Internacional de Botánica Experimental*. 75: 47-53.

Nobel P., S. 1991. *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press, Inc. San Diego, California. U.S.A. 635 p.

Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano—cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y Métodos de prueba. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.

Obregón O., J. A. y M. A. Oviedo A. 2004. Efecto de tres densidades de siembra y cuatro niveles de fertilización nitrogenada sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) variedad TLAYOLLY en Chichigalpa, Chinandega. Trabajo de Diploma. Programa recursos genéticos nicaragüenses. Facultad de agronomía. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 45 p.

Oikeh S., O., G. Kling J., E. Okoruwa A. 1998. Nitrogen fertilizer management effects on maize grain quality in the West African moist Savanna. *Crop Sci*. 38: 1056-1061.

Pérez E. y U. Carril. 2009. *Fotosíntesis: Aspectos Básicos*. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal. 2 (3): 1-47.

Purcell I., C., A. Ball R., D. Reaper J. and D. Vories E. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Sci*. 42: 172-177.

- Rangel M., E., A. Muñoz O., G. Vázquez C., J. Cuevas S., J. Merino C. y S. Miranda C. 2003. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia* 38(1): 53-61.
- Rojas V., N. J. 2010. Biomasa y análisis bioquímico en teocintle perenne (*Zea diploperennis* Iltis, Doebley y Guzmán) en diferentes etapas fenológicas. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 66 p.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT® 9.1 User`S Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2000. Normas climatológicas 1971-2000. El Cuije, Galeana, Nuevo León. En línea: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/nl/NORMAL19115.TXT>. Fecha de consulta: 20 de Marzo de 2011.
- Servicio nacional de inspección y certificación de semillas (SNICS). 2009. Manual gráfico para la descripción varietal del maíz (*zea mays* L.). SAGARPA. México D.F. ISBN 968-800-489-8. Descriptores 52, 55, 56, 57 y 61.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). 2007. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 131 p.
- Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). 2009. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). Información Agrícola de los años 1980 a 2007. Centro de Estadística Agropecuaria (C.E.A.). Versión 1.1.
- Sinoquet, H. and R. M. Caldwell. 1995. "Estimation of light capture and partitioning in intercropping systems". *In*: Sinoquet, H., Cruz, P. (Eds), *Ecophysiology of tropical intercropping*. INRA, Paris, Francia. pp. 79-97.

- Tanaka W., Cirilo A., R. Ruiz. 2005. El manejo agronómico de maíz colorado afecta la calidad comercial del grano. *In: AIANBA (Ed). Acta VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario, Santa Fe, Argentina. 16-18 de Noviembre. pp. 67-70.*
- Tetio-Kagho F. and F. P. Gardner. 1988. Responses for maize to plant population density. II. Reproductive development, yield, and yield adjustments. *Agron. J. 80: 935-940.*
- Tollenaar M. 1992. Is low plant density a stress in maize? *Maydica 37: 305-311.*
- Tollenaar M., L. M. Dwyer, D. W. Stewart. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Sci. 32: 432-438.*
- Tollenaar M., D. E. McCullough, L. M. Dwyer. 1994. Physiological basis of genetic improvement of corn. *In: G. A. Slafer (ed). Genetic improvement of fields crops. Marcel Dekker, Inc. N.Y. pp: 183-236.*
- Tsai C., Y., I. Dweikat, M. Huber D., L. Warren H. 1992. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays*) grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality. *J. Sci. Food and Agric. 58:1-8.*
- Turrent F., A., R. J. Laird, J. I. Cortes F., A. Barrios A. 2005. Revisiting agroecosystem productivity: II. Validity for adapting technology to maize in Mexico. *Agrociencia 39: 149-159.*
- Uhart, S. A. and F. H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Science 35: 1376-1383.*
- Vázquez C., Ma. G., L. Guzmán B., J. L. Andrés G., F. Márquez S., J. Castillo M. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex. Vol. 26 (4): 231 – 238.*



- Venanzi S. y H. R. Krüger. 2010. Fertilización: mirando el suelo y la planta (importancia del análisis de suelos). Manejo de suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Espartillar, Buenos Aires, Argentina. 43 p.
- Viera A., L. 2004. Caracterización y evaluación de seis híbridos y seis variedades de polinización libre de Maíz (*Zea mays* L.) en el Viejo, Chinandega. Trabajo de Diploma. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 43 p.
- Virgen V., J., J. L. Arellano V., I. Rojas M., M. A. Ávila P., G. F. Gutiérrez H. 2010. Producción de semilla de cruces simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. Rev. Fitotec. Mex. 33 (Núm. Especial 4): 107 - 110.
- Widdicombe, W. D. and K. D. Thelen. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern corn belt. Agron. J. 94: 1020-1023.
- Wong R., R., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B., J. J. Lozano G. 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 30 (2): 181 – 189.
- Zepeda B., R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. Agricultura Técnica en México Vol. 33 Núm. 1: 17-24.
- Zermeño G. A., J. A. Montemayor T., J. Munguía L., L. Ibarra J., M. Cadena Z. 2005. Reflectividad y absorptividad de la radiación en tres densidades de planta y su relación con el rendimiento de maíz (variedad Cafime). Agrociencia 39(3): 285-292.
- Zhang F., F. Mackenzie A., L. Smith D. 1993. Corn yield and shifts among corn quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. J. Plant Nutr. 16(7): 1317-1337.