



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS FITOGENETICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

Optimización del rendimiento y de la calidad física en la producción de semilla del híbrido de maíz HS-2

Felipe Ávila Martínez

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis titulada: **Optimización del rendimiento y de la calidad física en la producción de semilla del híbrido de maíz HS-2**, realizada por el alumno: **Felipe Ávila Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Aquiles Carballo Carballo

ASESOR



Dr. Arturo Galvis Spínola

ASESOR



Dr. Gabino García de los Santos

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para realizar mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de hacer mis estudios y por los apoyos brindados.

A mi Consejo Particular que gracias al apoyo brindado se pudo concretar la presente investigación.

Al Dr. Aquiles Carballo C. por su enseñanza, orientación, apoyo y confianza. Por su amistad y gran calidad humana.

Al Dr. Arturo Galvis Spínola por su orientación, revisión de esta tesis, amistad y por su forma de pensar.

Al Dr. Gabino García de los Santos por su amistad, confianza y orientación en la presente investigación.

A la Dra. Ma. Elena que a pesar de no formar parte de mi Consejo Particular, me apoyó mucho en las revisiones previas de la tesis, particularmente en los detalles. Por su amistad y valiosos consejos.

Al Dr. Mateo Vargas Hernández que a pesar de no formar parte de este Consejo, me apoyó en todo momento con la parte estadística.

A mi colega Abel Santillán Ángeles por el trabajo en equipo, ya que sin ello hubiera resultado demasiado laborioso.

Al equipo de fútbol americano “Toros Salvajes” de la UACH por permitirme formar parte de ellos.

A todos mis profesores que a lo largo de mi formación académica han estado presentes.

DEDICATORIA

A mi familia por ser un motor muy fuerte que me ha impulsado hacía adelante: me han brindado todo su apoyo en cualquier momento y han confiado ciegamente en mí, minimizado mis errores y torpezas y halagando mis pequeños logros. Por ello dedico este trabajo que aunque, desde mi punto de vista, sigue teniendo mucho por mejorar, es el término de un ciclo productivo por todo lo aprendido.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Uso de semilla mejorada en México.....	3
2.2 Producción y tecnología de semillas	4
2.3 Influencia del ambiente e interacción genotipo-ambiente.....	5
2.4 Fertilidad de suelos	7
2.5 Respuestas a la fertilización.....	9
2.6 Respuestas a la densidad de población.....	10
2.7 Aislamiento.....	11
2.8 Tolerancias de campo	12
2.9 Relación hembra: macho	13
2.10 Sincronía en la floración.....	13
2.11 Desespigamiento	14
2.12 Relación entre calidad física y calidad fisiológica.....	15
2.13 Tendencia de la agricultura empresarial y la producción de semillas	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Localización del sitio experimental.....	17
3.2 Factores de estudio.....	17
3.3 Diseño experimental	17
3.4 Preparación del terreno.....	18
3.5 Muestreo y análisis químico de suelos.....	18
3.5.1 Muestreo	18
3.5.2 Análisis de suelos.....	19
3.6 Material genético.....	19
3.7 Establecimiento del cultivo	20
3.8 Labores culturales.....	20

3.9 Variables evaluadas en campo	21
3.9.1 Componentes del rendimiento en mazorca.....	22
3.9.2 Componentes del rendimiento en grano.....	22
3.10 Fase de laboratorio	23
3.10.1 Ubicación.....	23
3.10.2 Formas y tamaños de semilla.....	23
3.11 Peso volumétrico (PV)	23
3.12 Peso de 100 semillas (P100S).....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1 Análisis de suelos	25
4.2 Caracterización física de mazorcas del híbrido HS-2 obtenidas por la Planta de Acondicionamiento de Semillas.	27
4.3 Peso volumétrico (PV) del material de referencia	27
4.4 Peso de 100 semillas (P100S).....	27
4.5 Porcentaje para las formas y tamaños de semilla del material de referencia ..	28
4.6 Análisis de varianza para variables obtenidas en campo.....	28
4.6 Comparación de medias para variables obtenidas en campo.....	30
4.7 Variables medidas en mazorcas	33
4.8 Comparación de medias para variables tomadas en mazorcas.....	34
4.9 Rendimiento de las diferentes proporciones por forma y tamaño de semillas. 36	
4.10 Rendimiento de las diferentes proporciones para las formas plano y bola, y los tres tamaños en cada una.	36
4.11 Comparación de medias para rendimientos por tamaño y forma de grano....	38
4.12 Peso volumétrico.....	41
4.13 Comparación de medias para peso volumétrico	42
4.14 Dimensiones de grano y peso de 100 semillas	43
4.15 Comparación de medias para dimensiones de grano y peso de 100 semillas	43
4.16 Correlación entre variables	45
4.17 Rendimiento de semilla comercial por unidades y por peso para cada tratamiento	46
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. LITERATURA CITADA	50

INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Relación de surcos macho de bordo a utilizar en función del tamaño del lote de producción de semilla sembrado y la distancia de siembra de otros cultivos de maíz.....	11
Cuadro 2.	Tolerancias de campo en los factores que se indican para las semillas certificadas de cruza simples y dobles de maíz.....	12
Cuadro 3.	Descripción de los tratamientos evaluados.....	18
Cuadro 4.	Contenido de los principales nutrimentos, CE y pH del terreno donde se estableció el experimento.....	25
Cuadro 5.	Características físicas del perfil de suelos del Colegio de Postgraduados.....	26
Cuadro 6.	Características de las mazorcas tomadas como referencia.....	27
Cuadro 7.	Cuadrados medios de las fuentes de variación para las variables evaluadas en campo.....	30
Cuadro 8.	Comportamiento de las medias para variables en campo.....	31
Cuadro 9.	Cuadrados medios y sus significancias estadísticas de las fuentes de variación para variables medidas en mazorcas.....	34
Cuadro 10.	Comportamiento de las medias para variables de mazorcas.....	35
Cuadro 11.	Cuadrados medios y sus significancias estadísticas para proporciones en los diferentes tipos de grano	36
Cuadro 12.	Comportamientos medios para porcentaje de las diferentes formas y tamaños de semilla de maíz.....	37
Cuadro 13.	Cuadrados medios y sus significancias estadísticas para el rendimiento por forma y tamaño de grano.....	38
Cuadro 14.	Comportamiento medio y sus significancia estadística para rendimientos por tamaño y forma de grano de maíz.....	39
Cuadro 15.	Cuadrados medios y su significancia estadística para peso volumétrico por formas y tamaños de semillas	41
Cuadro 16.	Comportamiento medio para peso volumétrico en los seis tipos de semillas	42
Cuadro 17.	Cuadrados medios y su significancia estadística de las fuentes de variación para las dimensiones de granos (PM) y	

	peso de 100 semillas para las dos formas con tres tamaños.....	43
Cuadro 18.	Comparación de medias para dimensiones de grano y peso de 100 semillas.....	44
Cuadro 19.	Coeficientes de correlación y significancia estadística entre floración femenina y las proporciones por forma y tamaño de semillas	46
Cuadro 20.	Rendimiento medio en unidades·ha ⁻¹ y en bolsas de 60 000 unidades en función del tratamiento.....	47
Cuadro 21.	Rendimiento medio en kg y número de bolsas de 20 kg en función del tratamiento.....	47

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Rendimiento de semilla en función de la densidad de población para 70 (A), 140 (B), 210 (C) y 280 kg·ha ⁻¹ de Nitrógeno.....	29
Figura 2. Mazorcas totales e índice de cuateo (IC) en función de la densidad de población para 70 (A), 140 (B), 210 (C) y 280 kg·ha ⁻¹ de Nitrógeno.....	32
Figura 3. Rendimiento de semilla plano medio (RENDPM) en función de la densidad de población para 70 (A), 140 (B), 210 (C) y 280 kg·ha ⁻¹ de Nitrógeno.....	40

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y DE LA CALIDAD FÍSICA EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DEL HÍBRIDO DE MAÍZ HS-2

Felipe Ávila Martínez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

Con la finalidad de conocer el comportamiento del rendimiento y de la calidad física de semilla del híbrido HS-2, en función de diferentes densidades de población y dosis de fertilización nitrogenada, en el Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo, Texcoco, México, se estableció un experimento en parcelas divididas con cuatro repeticiones; a las parcelas grandes se les asignó el factor densidad de población con cuatro niveles: 40 000, 50 000, 60 000 y 70 000 plantas por hectárea, mientras que en las parcelas chicas fueron los tratamientos: 70, 140, 210 y 280 kg de nitrógeno, dando un total de 64 unidades experimentales. Se tomaron dos grupos de variables; en campo: floración femenina y masculina, altura de planta y mazorca, total de mazorcas por unidad experimental, índice de cuateo, y rendimiento; en laboratorio se determinó: número de hileras por mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca y olote, longitud de mazorca, y calidad física de la semilla a partir de clasificarla por forma y tamaño. De los resultados obtenidos destaca que la densidad de población influyó en el total de mazorcas, índice de cuateo, rendimiento total, y rendimiento de los tipos plano medio, bola media y bola chica; la fertilización influyó sobre longitud de mazorca y diámetro de olote; en tanto que la interacción nitrógeno x densidad derivó en un efecto diferencial sobre el número de mazorcas, índice de cuateo, y porcentaje de semilla tipos plano y bola. También hubo evidencia de que el retraso en la polinización incrementó el porcentaje de semilla tipo bola y redujo el número de granos por hilera. Finalmente, el tratamiento que da el mayor número de semillas es el 9: 60 000 plantas y 70 kg de nitrógeno; mientras que para rendimiento de semilla en kg, la mejor combinación fue 70 000 plantas y 70 kg de nitrógeno, es decir el tratamiento 13.

Palabras clave: densidad de población, dosis de nitrógeno, variedad, tipo de semilla, productividad.

OPTIMIZING YIELD AND PHYSICAL QUALITY IN SEED PRODUCTION OF HS-2 HYBRID CORN

Felipe Ávila Martínez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

In order to know the Hybrid HS-2 physical seed quality, under different population densities and nitrogen rates at Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, an experiment was established in split plot design with four replications; for the large plots were assigned the population density factors: 40 000, 50 000, 60 000 and 70 000 plants per hectare, while small plots were the treatments: 70, 140, 210 and 280 nitrogen $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, for a total of 64 experimental units. Two groups of variables were taken; in the field female and male flowering, plant and ear height, total number of ears per plot, prolificacy index, and yield; in the laboratory was determined: number of rows per ear, kernels per row, ear and cob diameter, ear length, and physical quality of the seed classify by shape and size. The results obtained highlights that the population density influenced the total of ears, prolificacy rate, total yield, and yield of medium flat, medium round, and small round seed; fertilization influenced ear length and diameter; while the interaction nitrogen x density resulted in a differential effect on the number of ears, prolificacy index, and percentage of seed flat and round types. There was also evidence that the delay in pollination increased the percentage of round seed and reduced the number of kernels per row. Finally, treatment 9 (60000 $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$ and 70 nitrogen kg) had the higher number of seeds; while for seed yield was treatment 13 (70000 $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$ and 70 nitrogen kg)

Keywords: plant density, nitrogen rate, variety, type of seed, productivity.

I. INTRODUCCIÓN

En volumen de producción a nivel mundial, el maíz ocupa el primer lugar con 1 006 244 000 t en el cierre 2014-2015; los tres principales productores de este grano son Estados Unidos con 361 091 000 t; China con 215 670 000 t; Brasil, 84 000 000 t y Unión Europea con 75 125 000; Estados Unidos, Argentina y Brasil lideran la exportación, mientras que su contraparte la ocupan Japón y México con 14 900 000 t y 10 300 000 t, respectivamente (FAS/USDA, 2015).

Dentro del territorio nacional, el cultivo de maíz para grano cubre la mayor superficie sembrada con 7 426 412.19 ha, de las cuales se obtiene una producción de 23 273 256.54 t y un rendimiento promedio de 3.3 t·ha⁻¹ (SIAP, 2014); a pesar del área que se emplea, se tiene una balanza deficitaria que asciende, aproximadamente, a 11 000 000 de t anuales (Espinosa-Calderón *et al.*, 2014), que cubren con grano del exterior. En el futuro se prevé que Estados Unidos destine la mayor parte de su producción de maíz a la industria del etanol y como consecuencia reducirá la exportación de grano (OCDE/FAO, 2013); USDA, 2012) de la que, en parte, depende México para cubrir el consumo interno. Estas necesidades nacionales, de acuerdo con las proyecciones para 2019-2020, serán de 11 815 000 t (FAPRI, 2011). Existen otros factores externos que agravan la situación como el aumento per cápita del ingreso en los países del grupo BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica) que incrementarán la demanda del cereal y también los precios del grano, por la ley de oferta y demanda. Bajo dicho panorama se hace necesario generar e implementar estrategias que lleven a mejorar la productividad a nivel

nacional, en las que se incluya mejoramiento genético, generación de tecnología en la producción tanto de semillas como de granos, el comercio y políticas gubernamentales para amortiguar los cambios externos en el escenario del maíz, ya que es un elemento indispensable para la soberanía y seguridad alimentarias (González-Rojas *et al.*, 2011).

1.1 Objetivos

- a) Determinar el efecto de la dosis de nitrógeno y de la densidad de población en el rendimiento y la calidad física de semilla del híbrido de maíz HS-2.
- b) Determinar la mejor combinación entre dosis de fertilización nitrogenada y densidad de población que generen el mejor rendimiento y calidad física de semilla del híbrido de maíz HS-2.

1.2 Hipótesis

- a) A medida que se incrementan la dosis de nitrógeno aplicado y la densidad de población, hay un incremento en rendimiento y calidad de semilla del híbrido de maíz HS-2.
- b) Existe una combinación entre tratamientos de fertilización nitrogenada y densidad de población en la que se obtiene el mayor rendimiento y calidad física del híbrido de maíz HS-2.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Uso de semilla mejorada en México

En el periodo 2011 a 2014, el 54% de la superficie se sembró con maíces nativos (SNICS, 2015 SIAP, 2013), lo que sugiere una ventana de oportunidad para el uso de semilla mejorada e incrementar los rendimientos en aquellas áreas que cuentan con condiciones favorables para el cultivo y en las que no se está explotando su potencial productivo (Mendoza *et al.*, 2002). En el 2010 la cantidad de semilla mejorada sembrada en México fue de 68 172 t de las cuales 95% correspondió a maíces blancos y el 5% a maíces amarillos, distribuidos en ocho regiones del país (García-Salazar y Ramírez-Jaspeado, 2014). Entre 2002 y 2008, el 95% de la semilla mejorada fue producida por grandes empresas semilleras, Monsanto y Pioneer, principalmente cuyo destino fue y sigue siendo, el mercado compuesto por los grandes productores de zonas con alto potencial como Sinaloa, Jalisco, el Bajío (SNICS citado por Luna *et al.*, 2012), mientras que el restante 5% lo producen empresas pequeñas. Los pequeños productores y productores de autoconsumo con reducida superficie no pueden acceder a la semilla de las transnacionales por su alto costo, y por ello surge la necesidad de fortalecer la producción de semilla por parte de empresas regionales a través de la generación información para que sean capaces de ofertar producto de calidad y a precios accesibles (Luna *et al.*, 2012); dicha información, tecnología y material genético, la generan en parte, y la crean las instituciones con tal fin como el Colegio de Postgraduados, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), entre otros.

2.2 Producción y tecnología de semillas

Producir semilla de calidad en híbridos de maíz, es indispensable contar con la información técnica necesaria como las características genéticas de los progenitores (líneas y cruza simples), la interacción genotipo-ambiente, el manejo agronómico, las áreas de adaptación óptima, fechas de siembra, sincronía de floración, relación hembra: macho, forma correcta y tiempo oportuno de desespigue, oportunidad en la siembra de progenitores, densidad de población, fertilización en cantidad y forma correcta, respuesta a biofertilizantes, características físico-químicas del suelo, entre otras (Espinosa *et al.*, 2003; Virgen-Vargas *et al.*, 2014). Como antecedente en México sobre el inicio de la generación de tecnología e información para la producir semilla, Artola en 1983, observó el comportamiento del rendimiento de seis genotipos de sorgo, dos híbridos y sus respectivos progenitores sometidos a tratamientos de densidad de población y fertilización nitrogenada; concluyó que los híbridos respondieron a la fertilización, mientras que las líneas solo lo hicieron a la densidad de población, pero no de manera similar; en otro estudio Caro (1987) trabajó con maíz: líneas endogámicas, dos cruza simples y una variedad de polinización libre en las que también manejó los mismos factores que Artola; hubo diferencias en el rendimiento de semilla por efecto tanto de genotipo como por tratamientos; las variables de calidades física y fisiológica también mostraron diferencias por genotipo, pero no por tratamientos, con excepción del peso seco de raíz que estuvo influenciado negativamente por el incremento en la densidad de población. En producción de semilla de girasol con tres variedades de polinización libre manejadas en diferentes densidades de población y distintos niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, Hernández, (1985) encontró que los componentes del

rendimiento como peso volumétrico y tamaños de semilla estuvieron influenciados directamente por el genotipo y no hubo respuesta a la combinación de densidad de población. Algunos trabajos más recientes abordan el mismo tema con resultados similares, en donde el comportamiento de cada genotipo es diferente, haciendo necesario, en el caso de producción de semillas, generar la información para cada uno de ellos, ya que además la información escasea por tratarse de menor escala en comparación con los cultivos para grano o porque las empresas que generan esta información no la comparten.

2.3 Influencia del ambiente e interacción genotipo-ambiente

El comportamiento de los genotipos depende del ambiente en que se establezca y del mismo genotipo, inclusive dentro de una misma región en diferentes ciclos (Pérez-López *et al.*, 2014). Dentro de los componentes del ambiente que más influyen se encuentran la temperatura, la precipitación, el tipo y origen de suelo, el relieve, la radiación, velocidad del viento, altitud, y otros. En México se cultiva maíz desde 0 hasta 2900 m de altitud, con temperaturas que van de 12.0 a 29.1°C en época del cultivo; precipitaciones entre 400 y 3555 mm, y entre 12.46 y 12.98 h luz (Ruíz *et al.*, 2008), lo que indica que existe una amplia diversidad genética para responder a condiciones de clima, suelo y manejo de cada condición en particular. Esta diversidad es resguardada principalmente por grupos étnicos de cada nicho ecológico. Un factor importante que también determina el comportamiento de los genotipos en cierto sitio tiene que ver con los ambientes en los que se hizo el mejoramiento (origen), las diferentes épocas y el manejo, como la época seca o de riego (Chapman *et al.*, 1997). Por ejemplo algunas líneas como las CML del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

(CIMMYT), de origen tropical, reducen sus días a floración cuando se siembran en lugares cálidos y con mayor altitud, y viceversa, mientras que los híbridos generados por éstas líneas presentan mayor rango de adaptabilidad (Kandus *et al.*, 2010); también dichas líneas son más sensibles al fotoperiodo que las de clima templado y resultan afectadas de manera directa en el número de hojas por planta después de 11 h por día y la duración del tiempo entre el inicio de la diferenciación floral y la emergencia de la espiga (Ellis *et al.*, 1992). Otras variables que son influenciadas por el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo-ambiente son: el rendimiento, altura de planta, el número de mazorcas por planta, el peso de mazorca, el porcentaje de acame y mazorcas podridas (Gordón-Mendoza *et al.*, 2006). En lo que respecta a calidad, Virgen *et al.*, (2014) detectaron diferencias en calidad física de la semilla y días a floración, y en algunas líneas se registraron hasta 8 días de diferencia en floración masculina en el mismo sitio en tres años de evaluación a causa de un diferencial tanto de temperatura como de precipitación; Virgen *et al.*, (2010) al evaluar siete cruza simples en dos localidades del municipio de Tlaxcala hallaron diferencias en rendimiento y peso volumétrico a causa del ambiente, así como efectos del genotipo en las variables componentes de calidad física y proporción de tamaños de semilla. En Aguascalientes, Gaytán y Mayek (2010) evaluaron líneas de Valles Altos como hembras y líneas subtropicales como progenitores machos y las cruza simples entre estas; las líneas presentaron un menor rendimiento en comparación con los machos y, ambas líneas produjeron en promedio menos que las cruza simples, y además el peso de 100 semillas fue superior en las cruza. Referente al tipo de híbrido, hoy en día la tendencia de los fitomejoradores es generar híbridos de cruza simples, ya que

representan ventajas en el ahorro de tiempo comparado con los híbridos de cruza dobles que requieren dos periodos de crecimiento (Hebblethwaite, 1983), aunque para que esto ocurra se requiere que las líneas den altos rendimientos para que sean rentables; por lo menos 3000 kg·ha⁻¹ (Pérez-López *et al.*, 2014).

2.4 Fertilidad de suelos

Los suelos destinados a la producción de semillas deben ser fértiles, con buen drenaje y profundos para propiciar un óptimo desarrollo del cultivo, que se traduzca al final en buena calidad de semilla. La fertilidad de suelos hace referencia a atributos químicos, físicos y biológicos que se asocian con la capacidad para producir cosechas sanas y abundantes y/o sostener una vegetación natural en condiciones cercanas a las óptimas (Etchevers 2000, citado por Astier-Calderón, 2002). Por atributos químicos se entiende a la cantidad y disponibilidad de nutrimentos para las plantas y que están condicionados por la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH y la conductividad eléctrica (CE), principalmente. Las propiedades físicas que más impactan en la producción son la estructura, la porosidad, la capacidad de retención de agua y la compactación; por su lado, la fertilidad biológica se refiere a la población y tipo de microorganismos que degradan residuos orgánicos y regulan las poblaciones de organismos patógenos para los cultivos. Existe una relación directa entre la cantidad de materia orgánica, masa microbiana y buena fertilidad física del suelo, ya que disminuye la densidad aparente, aumenta el espacio poroso, además de que hay buena estructura y conductividad hidráulica; estas propiedades se pierden en suelos con laboreo constante (Jaurixje *et al.*, 2013) y dificultan el desarrollo de las plantas, más en aquellas con débiles sistemas radicales como algunas líneas progenitoras de híbridos

de maíz. Existen pocos trabajos en producción de semillas y manejo de la fertilidad del suelo, toda vez que estos se han enfocado a fertilidad y productividad de cultivos, como Jurado *et al.*, (2006) que obtuvieron un incremento en el rendimiento y calidad de semilla de zacate navajita cuando adicionaron biosólidos con alto contenido de nutrimentos y materia orgánica. En lo que respecta a fertilidad física, se ha demostrado que las plantas que crecen en suelos compactados tienen que desarrollar raíces de mayor diámetro para tratar de penetrar las capas, en comparación con aquellas que crecen en suelos sin limitación, lo que las hace invertir mayor energía en superar tal resistencia (Materchera *et al.*, 1992); en el cultivo de frijol, la cantidad de raíces es menor en la capa compactada en comparación con la que no presenta ésta condición; el rendimiento de maíz y frijol disminuyen conforme se incrementa el grado de compactación (Caro *et al.*, 2000).

Claro *et al.*, (2000), estudiaron el efecto de la compactación sobre propiedades físicas del suelo y encontraron que a medida que se incrementa el paso de maquinaria la densidad aparente también lo hace, mientras que la porosidad y la infiltración disminuyen gradualmente; por otra parte Kuchenbuch e Ingram, (2004), y Chen y Weil (2011) observaron el comportamiento de raíces de plantas de maíz y encontraron que cuando la densidad aparente aumenta en los primeros diez centímetros, no ocurren cambios en las raíces seminales pero sí cuando se dan cambios en capas más profundas en donde la longitud disminuye; por otro lado, el número de raíces seminales es mayor en los primeros diez centímetros cuando hay problemas de compactación y disminuye conforme se incrementan la profundidad del suelo, provocando diferencias

en la cantidad de nutrimentos absorbidos a causa del impedimento al desarrollo óptimo de las raíces.

2.5 Respuestas a la fertilización

La aplicación de los nutrimentos necesarios para el desarrollo del cultivo a través de la fertilización en la producción de semillas es indispensable porque afecta variables de calidad física como el peso del grano, calidad fisiológica y rendimiento (Tadeo-Robledo *et al.*, 2012); y deben aplicarse cantidades adecuadas a los requerimientos del cultivo y a las características de éste, ya que una fertilización excesiva, por ejemplo con nitrógeno, tienen efecto negativo en variables como diámetro y longitud de mazorca cuando se emplea una línea (CML 142) pero no cuando se trata de una cruza simple (CML 176 x CML 142) donde participan estas líneas; en ambos genotipos no se vio afectada la calidad física ni fisiológica (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2013); la falta de nitrógeno o su existencia en niveles bajos provoca disminución del número y peso del grano, peso seco de raíz, así como el peso de mazorca y la cantidad de biomasa acumulada (Ciampiti y Vyn, 2011; Rossini *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2013). Se dan casos en los que aplicaciones de elementos menores no modifican calidad ni rendimiento por encontrarse en niveles suficientes en el suelo (Zepeda *et al.*, 2002). Dentro de los nutrimentos, la deficiencia de nitrógeno es uno de los factores más limitantes en la producción de maíz (Ladha *et al.*, 2005) debido a que es un elemento de alta movilidad y permanece muy poco tiempo en el suelo en forma disponible para las plantas.

2.6 Respuestas a la densidad de población

Las respuestas de los genotipos a la densidad de población son muy diferentes, dependiendo si son líneas o cruzas, incluso dentro de diferentes líneas y cruzas; las cruzas simples como progenitores de híbridos trilineales tienen en promedio rendimientos de semilla más altos que líneas que actúan como progenitoras de híbridos simples (Virgen *et al.*, 2010; Tadeo-Robledo *et al.*, 2007). Las líneas de porte bajo responden favorablemente en rendimiento a altas densidades de población, por ejemplo con 85 000 plantas por hectárea se pueden tener incrementos del 13% en comparación con densidades de 62 500 plantas; en densidades alta las plantas son de mayor altura a causa de competencia por luz (Tosquy *et al.*, 1998; Virgen-Vargas *et al.*, 2014). La respuesta a diferentes densidades de población también está influenciada por diversos factores; el factor genético es uno de ellos: a menor diferencia genética entre plantas, se tolera alta densidad, por ejemplo, los híbridos de cruce simple son tolerantes mientras que los híbridos dobles son afectados negativamente (Fasuola *et al.*, 1997, citado por Tokatlidis *et al.*, 2011); dichas afectaciones ocurren por una reducción del largo de las hojas y un incremento del índice de área foliar a medida que la densidad se incrementa, mientras que el rendimiento de grano, número y peso de grano, peso de mazorca y la biomasa por planta es más alto a bajas densidades (Ciampiti y Vyn, 2011; Jiang *et al.*, 2013; Maddonni *et al.*, 2006). En la parte subterránea, el incremento en la densidad de población en soya y maíz provoca una disminución en el número de raíces en la profundidad de 5 a 25 cm, así como el peso de materia seca (Scheiner *et al.*, 2000; Jiang *et al.*, 2013), aunque Andrade *et al.*, (2000) incrementaron la densidad de población en condiciones no limitantes de agua y

nutrimentos, y obtuvieron un aumento en el número de granos y rendimiento pero la acumulación de nitrógeno en grano y raíz disminuye (Jiang *et al.*, 2013).

2.7 Aislamiento

Para mantener la pureza genética es indispensable que no exista contaminación, ya sea por mezclas con la presencia de semilla de ciclos anteriores o por llegada de polen de lotes vecinos. De acuerdo con las Normas para la Certificación de Semillas (1975), para cruza simples e híbridos de maíz debe existir una distancia mínima de 200 m entre el lote de producción y otros lotes sembrados con maíz; para maíces dulces, la distancia mínima debe ser de 400 m, aunque puede modificarse de acuerdo con la superficie manejando surcos borderos (Cuadro 1); también es posible lograr aislamiento al modificar las fechas de siembra con relación a los lotes vecinos.

Cuadro 1. Relación de surcos macho de bordo en función del tamaño del lote de producción de semilla sembrado y la distancia de otros cultivos de maíz.

Numero de surcos bordos del macho	Superficie en hectáreas de lote de producción de semillas		
	1 a 9	10 a 19	20 o mas
	Distancia mínima de otros campos de maíz al progenitor femenino (m)		
2	200	180	165
4	190	170	155
6	165	145	130
8	140	120	105
10	115	95	80
12	90	70	55

Fuente: SEA, 1975

2.8 Tolerancias de campo

Existen diferentes tolerancias de acuerdo a la categoría de semilla que puede ser: original, básica, registrada y certificada, y cuya definición según la SAGARPA (2007) en la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas de 2007 son: las semillas originales son aquellas que resultan del mejoramiento o de la formación de variedades, mientras permanezcan bajo el control de quienes las formaron o mejoraron; las semillas básicas son aquellas que se producen por incremento de las semillas de categoría original y que en el proceso se garantice su más alto grado de identidad genética y pureza; las semillas registradas son las que resultan por incremento de la semilla básica y que conservan satisfactoriamente su identidad genética y pureza varietal, dentro de los reglamentos de la Ley sobre Semillas; la última categoría corresponde a las semillas certificadas y que descienden de las semillas básicas o de las propias certificadas; son destinadas a la comercialización y deben de producirse de acuerdo con lo establecido en la Ley sobre Semillas (2007) Cuadro 2.

Cuadro 2. Tolerancias de campo en los factores que se indican para las semillas certificadas de cruzas simples y dobles de maíz.

Factor	Categoría		
	Básica	Registrada	Certificada
Plantas fuera de tipo incluyendo otras variedades (Máx.)	Ninguna	10 por ha	20 por ha
Plantas de otros cultivos	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Plantas de hierbas nocivas	Ninguna	Ninguna	Ninguna

Fuente: SEA, 1975

2.9 Relación hembra: macho

En la relación de surcos hembra: macho, se busca un balance tal que exista la cantidad suficiente de polen y el mayor número posible de surcos hembra, ya que de este último depende el rendimiento de semilla. Algunas relaciones que se manejan son 3:1 (Valdivia *et al.*, 2000), 4:2 o 2:1 (Sierra *et al.*, 2008); por su parte García *et al.*, (2014) evaluaron las relaciones 4:1, 6:1, 8:1, 10:1 y 6:2 en producción de semilla del híbrido H-135, concluyendo que la mejor relación fue 8:1 por producir la más alta cantidad de semilla comercial. Esta relación puede modificarse por diversas razones como velocidad del viento, maquinaria disponible y por características propias del progenitor macho como son la forma de espiga, longitud, número de ramas por espiga y flores por espiga (Vidal *et al.*, 2004; Ortiz-Torres *et al.*, 2010).

2.10 Sincronía en la floración

En la producción de semilla híbrida de maíz, es indispensable que coincidan las floraciones masculina y femenina, y cuando alguno de los progenitores llega antes o después a floración, existen medidas correctivas para la sincronía, como las siembras separadas por tiempo junto con la aplicación de algún fertilizante en especial y de hormonas. Al respecto, en un experimento con brasinoesteroides aplicados en híbridos de maíz, Torres-Ruíz *et al.*, (2007) encontraron que se adelantó la floración femenina y masculina en los híbridos de cruce simple. La aplicación de giberelinas y Cloruro de Mepiquac (PIX) adelantaron la floración masculina 4 días en ambos casos, y la floración femenina en tres y dos días, respectivamente en el progenitor hembra (B33 x B33) del híbrido H-311, en la floración del progenitor macho (B17 x B17) solo las giberelinas adelantaron la floración masculina y en la floración femenina, PIX la atraso

por cuatro días (Espinosa *et al.*, 2001). En sentido contrario, Torres *et al.*, (2004) lograron retrasar la floración masculina en 13 días con podas en etapa de cuatro hojas liguladas y 14 en floración femenina; ocho días en floración masculina y seis en floración femenina cuando se aplicó flameo y, cuatro y tres días, respectivamente cuando se sembró a una profundidad de 10 cm. Los métodos anteriores son correctivos, y comúnmente se siembran los progenitores con suficientes días de diferencia para lograr sincronización.

2.11 Desespigamiento

La finalidad de eliminar la espiga del progenitor hembra antes de que empiece a liberar polen, cuando no hay androesterilidad masculina en el progenitor hembra, es evitar la autopolinización que conlleva a la obtención de semilla de mala calidad genética que no es certificada por el SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas) que al emplearla en la producción de grano tiene una baja producción. Esta actividad se debe realizar antes de que la espiga empiece a liberar polen y se puede hacer de forma manual o con el empleo de maquinaria para tal fin. Al realizar esta labor se debe tener especial cuidado en no eliminar hojas, ya que existe evidencia de que cuando esto ocurre existe un decremento lineal del rendimiento cuando se eliminan de una a cuatro hojas (Wilhelm *et al.*, 1995; Espinosa-Calderón *et al.*, 2010), aunque también depende del genotipo, por ejemplo, en un estudio de cruzas simples en progenitores hembra de los híbridos “H-47” y “H-49”, en donde se eliminaron hasta dos hojas después de la espiga, no se encontró diferencia en los componentes del rendimiento (Tadeo *et al.*, 2013), lo mismo ocurrió en una evaluación hecha por

Meza (1998) en donde no encontró diferencia en rendimiento de semilla, calidad física y calidad fisiológica al eliminar de una a cuatro hojas con la espiga.

2.12 Relación entre calidad física y calidad fisiológica

Tener semillas de calidad, es indispensable para que el embrión se transforme en una plántula capaz de valerse por sí misma y convertirse en una planta adulta (Doria, 2010), como lo demuestran Pérez *et al.*, (2007) al encontrar que la calidad fisiológica medida a través de componentes del vigor (Velocidad de emergencia, peso seco de mesocótilo, peso seco de raíz, peso seco de coleóptilo) está relacionado directamente con el rendimiento de grano y sus componentes. A su vez, la calidad fisiológica va de la mano con la calidad física, por lo que es indispensable lograr esta última mediante diversas medidas en el proceso de producción; por ejemplo, la cosecha debe hacerse en madurez fisiológica, ya que cosechar antes de esta etapa, se reduce el vigor de las plántulas (Guan *et al.*, 2013). En cuanto a la forma y el tamaño de semilla, estas afectan el vigor en donde se muestra que algunos componentes de este último como el peso seco de plúmula responden favorablemente a tamaños grandes en comparación con semillas chicas y en lo que se refiere a la posición en la mazorca, las semillas de la base y parte media tienen mayor vigor que las que se ubican en la parte apical (Tadeo-Robledo *et al.*, 2010; Mendoza *et al.*, 2004). La longitud del grano está asociada directamente con el peso seco de la parte aérea (Pérez *et al.*, 2006), por lo que es un indicador de vigor. Algunos estudios evidencian que las semillas de sorgo de tamaño medio y grande tienden a producir plántulas con plúmula y radícula más grandes, y de mayor peso seco (Valadez-Gutiérrez *et al.*, 2007). En Girasol, Nagaraju (2001) citado por

Ambika *et al.*, (2014) observó mayor peso seco de planta, número de hojas y diámetro de tallo en semillas de tamaño grande comparadas con semillas pequeñas.

2.13 Tendencia de la agricultura empresarial y la producción de semillas

Actualmente, la tendencia es hacia agricultura de precisión en donde se pone especial énfasis en el manejo eficiente de los insumos como fertilizantes, herbicidas, semillas y combustibles, haciendo zonificaciones por tipo de suelo, manejos previos y posición del terreno con el objetivo de incrementar la productividad y cuidado del ambiente, con la aplicación de tecnologías como sensores terrestres, satélites y equipos de cómputo (Mulla, 2013) que generan información para la elaboración de mapas que se cargan a la maquinaria para nivelación, fertilización y aplicación de cualquier insumo. En la parte nutrimental, se pone especial énfasis en el manejo del nitrógeno debido a que es un elemento muy móvil que puede causar pérdidas económicas por deficiencias, o en exceso puede producir daños al ambiente por contaminación de mantos acuíferos; para su diagnóstico en los cultivos, se han estado implementando nuevos métodos basados en la reflectancia de hojas captada por sensores, reflectómetros y cámaras digitales; ya que los métodos convencionales como Kieldahl y Dumas consumen tiempo y requieren del uso de laboratorios (Muñoz-Huerta *et al.*, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

La fase de campo se llevó a cabo en el lote experimental denominado “B-9”, del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, en el Estado de México, ubicado a una altitud de 2250 m.

3.2 Factores de estudio

Se evaluaron dos factores:

- a) Densidad de población con cuatro niveles: 40 000, 50 000, 60 000 y 70 000 pl·ha⁻¹
- b) Fertilización nitrogenada con cuatro niveles: 70, 140, 210 y 280 kg·ha⁻¹. La combinación de estos factores con sus respectivos niveles generó 16 tratamientos que se muestran en el Cuadro 3.

3.3 Diseño experimental

Los tratamientos se establecieron bajo un diseño en parcelas divididas, asignando a las parcelas grandes la densidad de población (D) y a las parcelas chicas la fertilización nitrogenada (F).

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Densidad de población (pl·ha ⁻¹)	Fertilización nitrogenada (kg·ha ⁻¹)
1	40 000	70
2	40 000	140
3	40 000	210
4	40 000	280
5	50 000	70
6	50 000	140
7	50 000	210
8	50 000	280
9	60 000	70
10	60 000	140
11	60 000	210
12	60 000	280
13	70 000	70
14	70 000	140
15	70 000	210
16	70 000	280

3.4 Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en un barbecho con arado de discos; un paso de rastra y finalmente el surcado a 80 cm. Al momento del surcado se aplicó una fertilización de 80 kg de N y 60 kg de P₂O₅.

3.5 Muestreo y análisis químico de suelos

3.5.1 Muestreo

Después del surcado del lote, se procedió a la delimitación de las unidades experimentales para hacer el muestreo. Aun cuando el lote experimental estuvo aislado por tiempo, a lo ancho del lote y en dirección de los surcos, se dejaron nueve surcos como bordos para evitar contaminación por lotes vecinos. A lo largo, se dejaron 2.5 m de cada lado para el mismo propósito. A partir de una separación igual de 2 m (calle),

se procedió a trazar parcelas de 10 m de largo y 1 m de separación entre parcelas; cada una de seis surcos. A lo ancho, cada parcela quedo separada por tres surcos destinados al progenitor macho y fueron ocho parcelas a lo ancho, y un total de 64 (8 x 8). El muestreo se realizó con una pala recta a una profundidad de 25 cm en el surco central de cada una de las 64 parcelas. Cada muestra se colocó por separado en bolsas de plástico etiquetadas para su posterior secado y acondicionamiento para las diferentes determinaciones contempladas.

3.5.2 Análisis de suelos

El análisis de suelos se llevó a cabo en el Laboratorio de usos múltiples del Colegio de Postgraduados. Para ello, se tomaron 16 muestras distribuidas en zig zag de las 64 parcelas en las cuales se hicieron las determinaciones siguientes: fósforo por el método de Olsen, potasio por método directo, nitrógeno de manera indirecta por pirofosfato de sodio; textura por Boyoucos; pH en agua destilada con relación 2:1 y Ce de manera directa.

3.6 Material genético

Se utilizaron los progenitores del híbrido trilineal HS-2; el progenitor hembra es una craza simple (CL12 x CL11) y el progenitor macho una línea (CL7), los cuales fueron proporcionados por el Dr. Aquiles Carballo C., Profesor Investigador Titular del Colegio de Postgraduados.

Como referencia de calidad deseada se integraron 10 mazorcas del progenitor hembra del híbrido HS-2, producidas en el ciclo primavera-verano en el Rancho "Santa Rosa",

en el municipio de Texcoco por la Planta de Acondicionamiento de Semillas del Colegio de Postgraduados.

3.7 Establecimiento del cultivo

El 23 de abril de 2014 se estableció el progenitor macho del híbrido HS-2 con una fertilización base de 60-60-00 y se aplicó un riego pesado. A los ocho días, el 30 de abril, se sembró el progenitor hembra utilizando hilos con marcas de acuerdo con la densidad correspondiente y se le aplicó una fertilización base de 120 kg de P_2O_5 ; 90 kg de K_2O y 47 kg de N, y al día siguiente se aplicó un riego completo a todo el lote experimental.

3.8 Labores culturales

Al mes de la siembra del progenitor hembra (27 de mayo), se aplicó el producto comercial SANSON® a una dosis de $1.5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ para controlar pastos; el 4 de julio se aplicó el herbicida preemergente Primagram® ($4 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$); posteriormente se hizo una aplicación de Marvel® ($2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) para controlar malezas de hojas anchas. En etapa de floración del cultivo se aplicó Gramoxone® ($3 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) para controlar chayotillo y en etapa final se aplicaron $2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ Faena® para eliminar malezas tardías antes de la cosecha. En lo que respecta a plagas, solo hubo presencia de gusano cogollero que no fue necesario controlar por la baja incidencia. En lo que respecta al riego, se aplicaron seis en total contando los dos al inicio, posterior a la siembra. La eliminación de la espiga se hizo de forma manual cada tercer día iniciando el día 18 de julio y concluyó el 5 de agosto.

3.9 Variables evaluadas en campo

Floración

En campo se contabilizó el número de espigas cada tercer día a partir del inicio de la floración (18 de julio) y, para cada unidad experimental se determinó el porcentaje de plantas florecidas (FMZ) al quinto conteo (26 de julio) de diez que se hicieron en lo que duró la floración masculina; la floración femenina (FEM) que inicio el 28 de julio y termino el 17 de agosto, se contabilizó de manera similar a la masculina y se determinó el porcentaje en cada conteo de los once en total.

Altura de planta (ALTPL)

Con un estadal se midió desde el ras del suelo hasta la parte superior de la planta.

Altura de mazorca (ALTMZ)

Se tomó desde ras del suelo hasta la base de la mazorca principal.

Número de mazorcas (TMZ)

Se obtuvo por conteo directo.

Cosecha y rendimiento (REND)

Se cosecharon las mazorcas de cada unidad experimental en los cuatro surcos centrales de 8 m de longitud.

Se estimó en kg/ha a 14% de humedad, y se calculó con la siguiente fórmula:

$$Rend = \frac{[PC * \%MS * \%G * FC]}{8600};$$

donde PC = peso de mazorcas en kg por parcela útil obtenido inmediatamente después de la cosecha con una báscula tipo reloj; %MS= porcentaje de materia seca, obtenido por la diferencia entre 100 y el porcentaje de humedad determinado con el equipo portátil de la marca DICKEY-john®, modelo M-20P; %G= porcentaje de grano, calculado mediante la relación entre el peso de grano y el peso de mazorca sin brácteas, de cuatro mazorcas por unidad experimental, multiplicado por 100; FC = factor de corrección, obtenido al dividir 10 000 m² (1 ha) entre la superficie (25.6 m²); 8600 = valor constante para estimar el rendimiento con una humedad del 14%.

3.9.1 Componentes del rendimiento en mazorca

Se tomaron 10 mazorcas cuidando de que fueran representativas de la variedad y se determinó el número de hileras (HIL) y granos por hilera (GPHIL); con un vernier electrónico se determinó el diámetro de mazorca (DMZ) y de olote (DOL) medido en la parte media, y con una regla la longitud de mazorca (LMZ).

3.9.2 Componentes del rendimiento en grano

El espesor de grano (GGR) se tomó con el vernier en diez granos de la parte media de la mazorca; el ancho de grano (AGR) se obtuvo colocando diez granos de la parte media de la mazorca sobre una regla; en ambos casos se obtuvo el promedio. Una vez tomadas estas variables, se desgranó la parte media y se tomó el diámetro de olote y por diferencia entre este y DMZ se obtuvo el largo de grano (LGR).

3.10 Fase de laboratorio

3.10.1 Ubicación

Esta fase de la investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Acondicionamiento de Semillas del Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

3.10.2 Formas y tamaños de semilla

El grano de diez mazorcas representativas de cada unidad experimental se pasó por una criba oblonga de 5.75 mm de ancho y 20 mm de largo para separar los tipos bola (B) y plano (P); después bola y plano (por separado) se pasaron por tres cribas: 9, 8 y 6.5 mm; la semilla que quedó retenida en la 9, se considera semilla de tamaño grande (G), la que fue retenida por la 8 es mediana (M) y finalmente se obtuvo el tamaño chico (C).

3.10.2.1 Porcentaje de semilla de cada forma y tamaño

Las diez mazorcas empleadas para obtener los componentes de rendimiento señalados, se desgranaron de forma manual y se pesaron (PG10MZ) y posteriormente se obtuvo el peso de los diferentes tamaños y formas para obtener la proporción de semilla de cada uno.

3.11 Peso volumétrico (PV)

El peso volumétrico se determinó colocando 90 mL (por ser la cantidad más baja de semilla en la forma bola) de semilla de cada una de las unidades experimentales en una probeta de 250 mL para cada uno de los tamaños de las dos formas y se pesó en

una báscula electrónica. Para obtener el peso volumétrico en $\text{kg}\cdot\text{hL}^{-1}$ se aplicó la fórmula siguiente:

$$PV = \frac{\text{Peso de semilla (g)}}{\text{Volumen ocupado (mL)}} * 100$$

3.12 Peso de 100 semillas (P100S)

Para cada una de las unidades experimentales se contaron 100 semillas y se pesaron en una báscula electrónica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de suelos

Las condiciones iniciales del suelo en el que se estableció el cultivo se muestran en el Cuadro 4. Para el caso de P_2O_5 , los valores son similares a los que halló Gonzáles (2008) que corresponden a 178.96 kg de P_2O_5 . Respecto a K_2O , los valores del análisis de suelo son muy elevados, ya que Gonzáles (2008) obtuvo 648.6 kg por hectárea. En cuanto a los valores de pH y CE, solo hubo diferencia mínima en el primero, ya que en este estudio resultó ligeramente más alto en comparación con los obtenidos por Gonzáles (2008), 8.0 y 7.8, respectivamente (Cuadro 4). Los valores que más variabilidad presentaron fueron P_2O_5 y CE con un coeficiente de variación (CV) de 22.03 y 37%, aunque en general la variabilidad es menor a la encontrada por Acevedo *et al.*, (2008) en suelos de Chapingo en una superficie de 12.7 ha en las que tomaron 182 muestras, cuyos máximos valores de coeficiente de variación (CV), 53.585 y 70.0%, correspondientes a P_2O_5 y K_2O ; por lo que la variabilidad espacial en las variables determinadas no es muy alta.

Cuadro 4. Contenido de los principales nutrimentos, CE y pH del terreno donde se estableció el experimento.

Variable	N	P_2O_5	K_2O	CE ($dS \cdot m^{-1}$)	pH
	$kg \cdot ha^{-1}$				
Media	67	192.34	7909.43	0.6	8.0
δ	4	42.38	814.67	0.2	0.1
CV (%)	6	22.03	10.3	37.0	0.7

δ = Desviación estándar y CV= coeficiente de variación

Gonzáles (2008) hizo un levantamiento cartográfico de los suelos del Colegio de Postgraduados a nivel de series, y reporta un total de ocho; la primera serie se

denomina canal y en esta se ubica el lote en donde se desarrolló el cultivo; tiene una superficie de 17.8 ha con las características que se indican en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características físicas del perfil de suelos del Colegio de Postgraduados.

Profundidad (cm)	Textura	Da (g·cm ⁻³)	Da ideal*	Da que puede afectar el desarrollo radical*
0-23	Franco arcillo limosa	1.30	<1.1	1.55
23-60	Arcillo limosa	1.23	<1.1	1.49
60-90	Franco arcillosa	1.45	<1.3	1.6
90-124	Arcillosa	1.18	<1.1	1.39
124-132	Franco	1.01	<1.4	1.63

Fuente: Gonzáles (2008) y *adaptado de SQI-USDA, 1999. Da = Densidad Aparente.

Al hacer la comparación de los valores de Da del perfil de suelos del Colegio de Postgraduados y los valores ideales de acuerdo con SQI-USDA (1999) mostrados en el Cuadro 5, se evidencia que los suelos del Colegio presentan compactación pero no llegan al valor crítico para el desarrollo radical.

4.2 Caracterización física de mazorcas del híbrido HS-2 obtenidas por la Planta de Acondicionamiento de Semillas.

Los valores medios para las variables tomadas en mazorca y grano se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Características de las mazorcas tomadas como referencia.

Variable	LMZ	DMZ	DOL	HIL	GXHIL	AG	GG	LG
	Cm					Cm		
Media	16.98	5.93	2.77	17.4	32.7	0.82	0.45	1.17
CV (%)	4.82	2.87	5.68	12.17	7.06	8.08	6.82	8.10

LMZ = longitud de mazorca; DMZ = diámetro de mazorca; DOL= diámetro de olote; HIL = hileras; GXHIL= granos por hileras; AG = ancho de grano; GG = espesor de grano y LG = longitud de grano.

4.3 Peso volumétrico (PV) del material de referencia

Los valores de peso volumétrico para PG, PM, PC, BG, BM y BC fueron 82.3, 82.0, 81.9, 81.2, 82 y 82.2 kg·hL⁻¹, respectivamente. Para este mismo híbrido, Bustamante (2010) determinó un peso de 75.83 kg·hL⁻¹. A pesar de la diferencia, ambos valores se encuentran por encima de los 75.83 kg·hL⁻¹, valor mínimo para alcanzar la certificación de la semilla (Moreno, 1984).

4.4 Peso de 100 semillas (P100S)

Para 100 semillas en los tipos PG, PM, PC, BG, BM y BC los pesos fueron 48, 43.1, 38.6, 51.8, 45.1 y 39 g, respectivamente. Para este mismo híbrido Bustamante (2010) halló que 1000 semillas pesaron 366 g, 36.6 g por 100 semillas, valor inferior al que se obtuvo en el material de referencia; asimismo el híbrido HID-17 tuvo 41.4 g por 100 semillas, mientras que otro material tuvo el valor más bajo, con 21.2 g.

4.5 Porcentaje para las formas y tamaños de semilla del material de referencia

La forma de semilla tipo plano representó un 73.27% del total, en tanto que el tipo bola es 26.73%. Desglosados en los tres tamaños del tipo plano, 15.03% es PG, 37.56% PM, 20.68% PC; para el tipo bola, 3.66% BG, 11.77% BM y 11.3% BC.

Bustamante (2010) caracterizó, por forma y tamaño, 17 híbridos de maíz entre los que se encuentra HS-2 el cual arrojó 3% bola y 97% plano, y por tamaños, el medio fue de 73.7%; en el presente estudio se observó la misma tendencia, ya que el mayor porcentaje fue para el plano y el menor a la forma bola, y para la clasificación por tamaño el medio fue el que tuvo mayor proporción, aunque los valores son muy diferentes, ya que la diferencia entre el porcentaje de semilla tipo plano en este estudio y el hallado por Bustamante es de 23.73% por el solo hecho de usar cribas diferentes. El resto de los materiales evaluados por Bustamante (2010) siguen la misma tendencia en el sentido de que la mayor proporción corresponde al tipo plano, y en tamaños predomina el tipo medio con diferencias entre genotipos.

4.6 Análisis de varianza para variables obtenidas en campo

Las variables FEM, ALTPL, y ALTMZ no presentaron diferencia significativa para los factores densidad de población y fertilización nitrogenada, en cambio TMZ, IC y REND (Figura 1) fueron influenciadas altamente por la densidad de población, pero no lo fueron estadísticamente por la aplicación de nitrógeno; en el caso de la interacción de los dos factores hubo efecto para TMZ e IC (Cuadro 7).

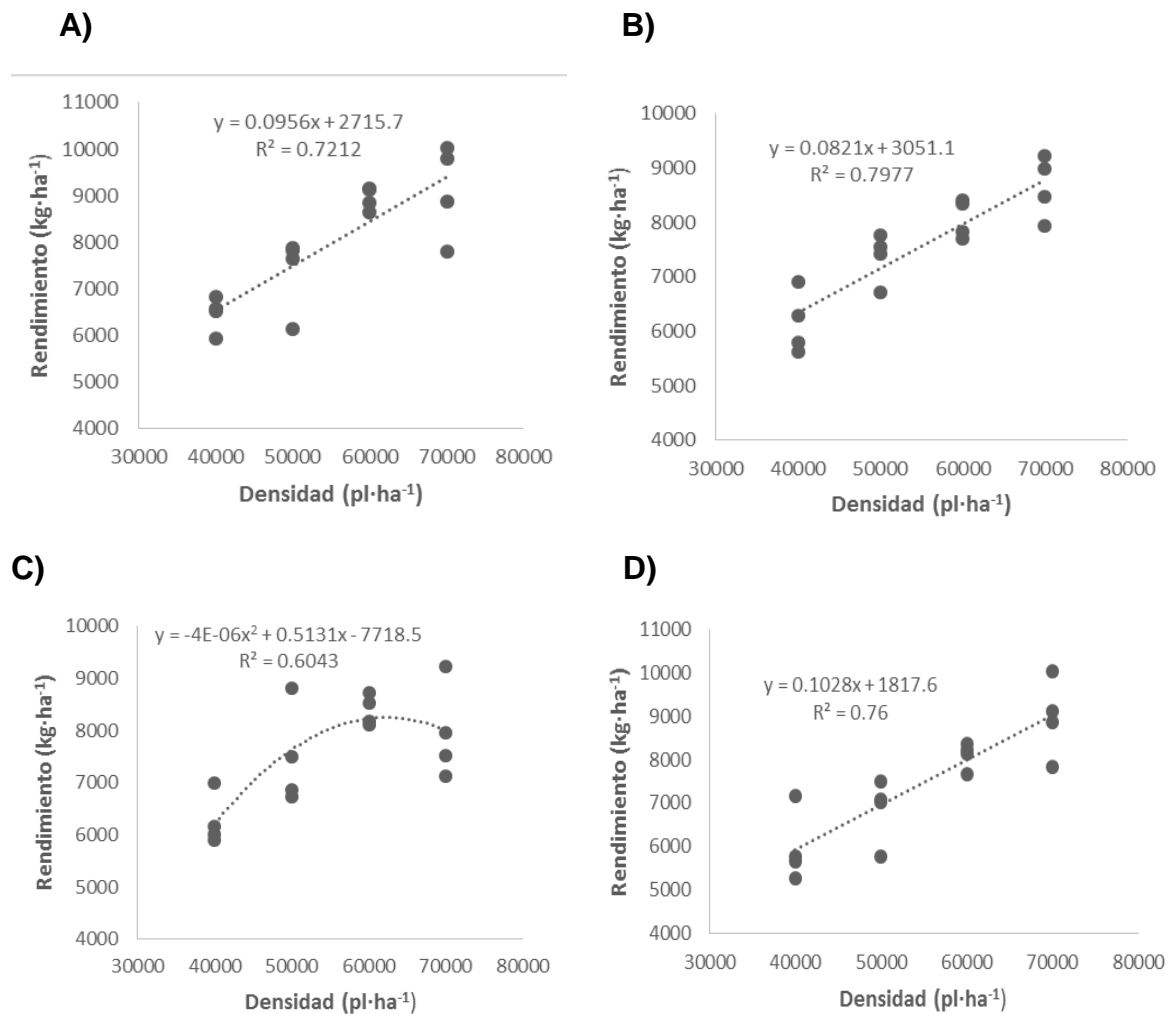


Figura 1. Rendimiento de semilla en función de la densidad de población para 70 (A), 140 (B), 210 (C) y 280 kg·ha⁻¹ de Nitrógeno.

Cuadro 7. Cuadrados medios de las fuentes de variación para las variables evaluadas en campo.

F. V.	FEM	ALTPL	ALTMZ	TMZ	IC	REND
D	821.06	0.01	0.686	7499.97	0.170	20432722.74
	0.60	0.87	0.78	<0.0001	0.0007	0.0002
F	20.90	0.004	0.614	28.813	0.629	655387.88
	0.94	0.61	0.61	0.83	0.62	0.14
D·F	147.03	0.050	0.512	316.65	0.17	506161.26
	0.57	0.50	0.50	0.005	0.008	0.19
CV (%)	21.95	3.93	6.28	6.33	6.55	7.68

FEM = floración femenina; ALTPL = altura de planta; ALTMZ= altura de mazorca; TMZ = número de mazorcas; IC = índice de cuateo; REND = rendimiento.

4.6 Comparación de medias para variables obtenidas en campo

Como se muestra en el Cuadro 8, FEM es similar estadísticamente para los dos factores, con valores máximo y mínimo de 66.56 y 49.67, respectivamente; para el factor densidad y para la fertilización nitrogenada estos valores son 61.8 y 58.2; el mismo comportamiento se observa para ALTPL de 1.6 a 1.21 m; algo similar sucedió con ALTMZ con valores cercanos a 1.5 m. En cambio, TMZ, IC (Figura 2) y REND fueron afectadas únicamente por la densidad de población; el mayor número de mazorcas se obtuvo con las densidades de 60 000 y 70 000 pl·ha⁻¹, mientras que el valor más bajo (132.37) fue con 40 000 plantas. Para IC el valor superior (1.29) se logró con el menor número de plantas, en tanto que con alta densidad se tienen menos mazorcas por planta. Finalmente, el rendimiento también respondió positivamente al incremento del número de plantas por superficie, aunque como se observa en el Cuadro 8, al pasar de 40 000 a 50 000 y de este último a 60 000 plantas, el incremento

fue cercano a una tonelada, en cambio de 60 000 a 70 000 el aumento solo fue de 299.3 kg.

Cuadro 8. Comportamiento medio para las variables en campo.

Densidad	FEM	ALTPL	ALTMZ	TMZ	IC	REND
		m				kg·ha ⁻¹
40 000	66.56a	2.1718a	1.162a	132.37c	1.295a	6212.1b
50 000	63.15a	2.172a	1.142a	146.063b	1.153b	7263.9b
60 000	59.79a	2.235a	1.212a	169.31a	1.112b	8376.9a
70 000	49.67a	2.208a	1.190a	180.06a	1.053b	8676.2a
DSH	39.203	0.2471	0.2047	11.258	0.1168	1090
Dosis N						
70	61.835a	2.228 ^a	1.199a	157.87a	1.172a	7973.4a
140	59.957a	2.185a	1.180a	157.43a	1.157a	7565.3a
210	59.145a	2.194a	1.168a	157.56a	1.138a	7520.1a
280	58.247a	2.180a	1.159a	154.93a	1.147a	7470.2a
DSH	12.497	0.0823	0.0704	9.9748	0.072	558.51

FEM = floración femenina; ALTPL = altura de planta; ALTMZ = altura de mazorca; TMZ = número de mazorcas; IC = índice de cuateo; REND = rendimientos. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DSH (Tukey, $p \leq 0.05$).

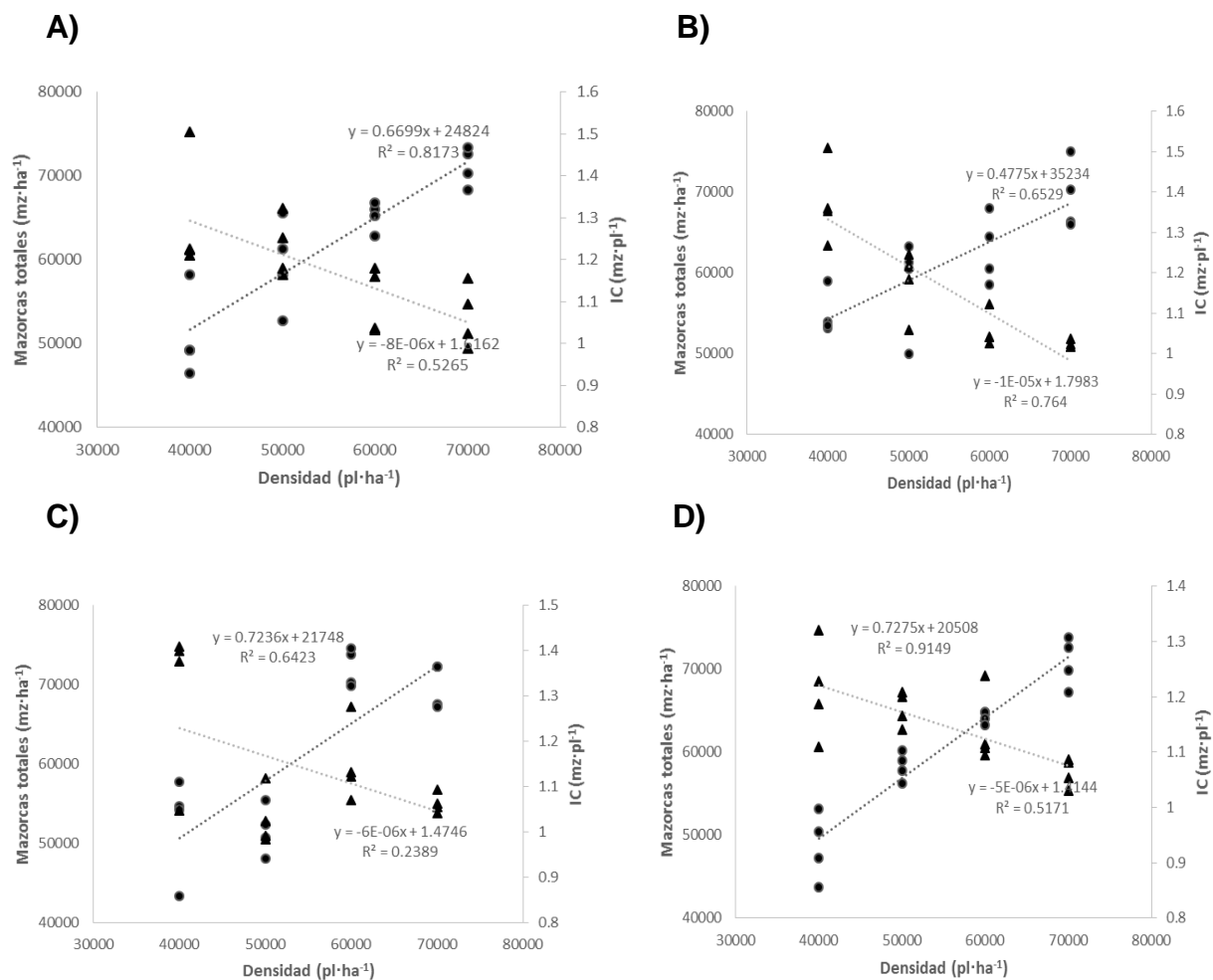


Figura 2. Mazorcas totales e índice de cuateo (IC) en función de la densidad de población para 70 (A), 140 (B), 210 (C) y 280 kg·ha⁻¹ de Nitrógeno.

Cervantes *et al.*, (2013) y Raya *et al.*, (2012) obtuvieron resultados similares por efecto de densidad para REND e IC, pero no para ALTMZ y FEM, en donde observaron efectos por densidad, la cual adelanta la floración femenina hasta en dos días e incrementa la altura de mazorca, cuando pasa de 60 000 a 90 000 plantas; diferencias que se puede atribuir a la estabilidad del material genético y a las densidades de población evaluadas, ya que Cervantes *et al.*, (2013) utilizaron 60 000, 75 000 y 90 000 plantas por hectárea, en tanto que Raya y colaboradores respectivamente 52 630,

65 789, 78 789, 92 013 y 105 263 plantas, y las mayores diferencias desde el punto de vista estadístico se obtuvieron al comparar los niveles extremos en número de plantas. Por otro lado, las líneas y en algunos casos las cruza simples progenitoras tienen mayor respuesta a las densidades de población que al nitrógeno aplicado, en comparación con los híbridos generados por estas, como lo demuestran diversos investigadores como Rutger (1971), D'Andrea *et al.*, (2009) y Bubert (2014), debido a la competencia por nutrientes como nitrógeno, agua y luz que es mayor en híbridos (Ciampitti y Vyn, 2011; Rossini *et al.*, 2011), ya que las líneas presentan menos vigor y sistemas radicales más débiles (Hebblethwaite, 1983). En producción de grano, Blas y Ramírez, (2002), y Sangoi *et al.* (2002) observaron que un incremento en densidad a partir de alrededor de 75 000 plantas, afectó negativamente las variables REND e IC, coincidiendo con el presente estudio solo en IC. Para el factor nitrógeno Cervantes *et al.*, (2013), Raya *et al.*, (2012) y D'Andrea *et al.*, (2009) no observaron efecto significativo, coincidiendo con lo que se obtuvo en la investigación. Posiblemente tal falta de respuesta se deba a que el experimento se estableció en un suelo con 80 kg de N y el nivel inferior de N fue 70 kg, 150 kg de nitrógeno en total para el tratamiento más bajo y a que los progenitores de híbridos responden a densidades de población y no tanto al nitrógeno, aunque tampoco se presentó afectación negativa cuando se aplicó la dosis más alta.

4.7 Variables medidas en mazorcas

Del grupo de variables tomadas en mazorca, el nitrógeno afectó significativamente LMZ y DOL (Cuadro 9); el resto de las variables no resultaron influenciadas.

Cuadro 9. Cuadrados medios y sus significancias estadísticas de las fuentes de variación para variables medidas en mazorcas.

F. V.	LMZ	DMZ	DOL	HIL	GXHIL
D	0.273	1.511	0.768	1.106	0.461
	1.10	0.82	0.58	0.75	0.65
F	0.44	0.630	1.657	1.20	0.811
	0.02	0.73	0.023	0.55	0.60
D·F	0.164	1.340	0.510	1.101	1.280
	0.24	0.51	0.38	0.75	0.47
CV (%)	2.28	2.47	2.49	7.7	4.04

LMZ = longitud de mazorca; DMZ = diámetro de mazorca; DOL = diámetro de olote; HIL = hileras; GXHIL= granos por hilera.

4.8 Comparación de medias para variables tomadas en mazorcas

En el Cuadro 10 se aprecia que los valores de LMZ son similares estadísticamente para densidad; el mismo comportamiento se observa en DMZ, DOL, HIL y GXHIL. Considerando el valor promedio, la mazorca tiene una longitud de 15.82 cm, el diámetro de mazorca y olote son respectivamente de 4.88 y 2.73 cm; presentan en promedio 17 hileras con 28 granos cada una. Las variables en las que hubo efecto significativo por el nitrógeno fueron LMZ y DOL, aunque no siguen un patrón definido; por ejemplo las mazorcas de mayor longitud (15.9 cm) se obtienen con 280 kg de nitrógeno, mientras que las de menor longitud son resultado de aplicar 210 kg. En DOL, 70 kg de nitrógeno dan el mayor diámetro y 210 kg el menor.

Cuadro 10. Comportamiento de las medias para variables de mazorcas.

Densidad	LMZ	DMZ	DOL	HIL	GXHIL
	Cm				
40000	16.003 a	4.917 a	2.755 a	17.025 a	28.450 a
50 000	15.741 a	4.856 a	2.740 a	16.837 a	28.037 a
60 000	15.826 a	4.893 a	2.715 a	16.987 a	28.225 a
70000	15.704 a	4.859 a	2.708 a	16.837 a	28.168 a
DSH	0.3491	0.2475	0.1165	1.8188	0.9985
Dosis N					
70	15.828 ab	4.889 a	2.761 a	17.112 a	28.143 a
140	15.915 a	4.898 a	2.747 ab	16.937 a	28.525 a
210	15.580 b	4.854 a	2.688 b	17.450 a	27.987 a
280	15.951 a	4.875 a	2.722 ab	16.825 a	28.225 a
DSH	0.3325	0.1148	0.065	1.2524	1.0882

LMZ = longitud de mazorca; DMZ = diámetro de mazorca; DOL = diámetro de olote; HIL = hileras; GXHIL = granos por hilera. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DSH, Tukey, $p \leq 0.05$).

Cervantes-Ortiz *et al.*, (2013) hallaron que la densidad de población tuvo un efecto negativo sobre las variables LMZ y GXHIL, en cambio en la presente investigación no hubo tal efecto por este factor; para el caso de nitrógeno, estos mismos autores encontraron que hay un efecto negativo sobre LMZ y DMZ, al contrario de los resultados obtenidos en donde se observa que el nitrógeno afectó positivamente la longitud de mazorca. El contraste entre el material de referencia y los de la presente investigación para la variable GXHIL, en donde se tienen una media de 32.7 y 28, respectivamente, refleja un retraso en la floración del progenitor masculino, tal como lo muestran Kaeser *et al.*, (2003) en donde a medida que hubo retraso en la polinización, disminuyó el número de granos por mazorca.

4.9 Rendimiento de las diferentes proporciones por forma y tamaño de semillas.

Al separar únicamente por forma, la semilla tipo plano ocupa el 57.3% respecto al total, y el resto: 42.7% es semilla tipo bola. Para el caso de los tamaños, el medio ocupa el 48.86%, 28.06% corresponde a tamaño chico, y finalmente 23.06% a tamaño grande.

Las proporciones de cada una de las formas y sus tamaños se muestran en el Cuadro 11. Ninguno de los dos factores afectó de forma significativa las variables, y solo la interacción afecta PBM, PP y PB.

Cuadro 11. Cuadrados medios y sus significancias estadísticas para proporciones en los diferentes tipos de grano.

F. V.	PPG	PPM	PPC	PBG	PBM	PBC	PP	PB
	10.34	7.107	9.505	2.626	1.790	4.294	4.735	4.735
D	0.33	0.66	0.85	0.9	0.94	0.24	0.95	0.95
F	7.782	2.482	8.071	5.823	2.983	2.278	13.250	13.250
	0.37	0.93	0.78	0.72	0.8	0.41	0.8	0.80
D·F	3.346	22.741	34.347	27.491	30.147	1.758	89.207	89.207
	0.88	0.25	0.18	0.06	0.01	0.65	0.046	0.046
CV (%)	22.48	14.47	28.53	32.79	15.99	13.63	11.13	14.94

PPG = porcentaje de plano grande; PPM = porcentaje de plano medio; PPC = porcentaje de plano chico; PBG = porcentaje de bola grande; PBM = porcentaje de bola media; PBC = porcentaje bola chica; PP = porcentaje de plano; porcentaje de bola.

4.10 Rendimiento de las diferentes proporciones para las formas plano y bola, y los tres tamaños en cada una.

El plano grande representa aproximadamente el 12% de rendimiento total en semilla, mientras que plano medio y plano chico son el 28 y 16% respectivamente. Por su parte la semilla tipo bola grande constituye el 11%; 20 y 11% corresponden a bola media y

bola chica, respectivamente. Concentrado en solamente las dos formas, la semilla de forma plana es aproximadamente el 57%, en tanto que 42% es tipo bola (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comportamientos medios para porcentaje de las diferentes formas y tamaños de semilla de maíz.

Densidad	PPG	PPM	PPC	PBG	PBM	PBC	PP	PB
	%							
40000	12.28 a	28.34 a	16.45 a	10.86 a	20.55 a	11.48 a	57.08 a	42.91 a
50 000	12.90 a	28.63 a	15.89 a	11.53 a	20.51 a	10.51 a	57.43 a	42.56 a
60 000	11.0 a	29.39 a	17.61 a	10.91 a	19.88 a	11.18 a	58.01 a	41.98 a
70000	11.86 a	27.78 a	17.07 a	11.20 a	20.43 a	11.63 a	56.72 a	43.94 a
DSH	3.1076	3.9668	6.7408	4.125	4.1341	1.7859	7.2738	7.2738
Dosis N								
70	11.22 a	28.95 a	17.87 a	10.25 a	19.97 a	11.71 a	58.05 a	41.94 a
140	12.68 a	28.91 a	16.34 a	11.22 a	20.09 a	10.73 a	57.94 a	42.05 a
210	11.59 a	28.12 a	16.22 a	11.95 a	21.00 a	11.10 a	55.93 a	44.06 a
280	12.54 a	28.17 a	16.59 a	11.08 a	20.32 a	11.27 a	57.32 a	42.67 a
DSH	2.572	3.9339	4.5549	3.4758	3.0998	1.455	6.0745	6.0745

PPG = porcentaje de plano grande; PPM = porcentaje de plano medio; PPC = porcentaje de plano chico; PBG = porcentaje de bola grande; PBM = porcentaje de bola media; PBC = porcentaje bola chica; PP = porcentaje de plano; porcentaje de bola. Valores con misma letra son estadísticamente iguales (DSH, Tukey, $p \leq 0.05$).

Cervantes-Ortiz *et al.*, (2013), hallaron que el PBG fue afectado por la densidad de población, lo que no se observó en el presente estudio, aunque Bustamante (2010) en su caracterización física de semillas del progenitor femenino del híbrido HS-2, encontró los siguientes porcentajes: plano grande, 10.69%; plano medio, 72.22%, y plano chico 13.63%; para el caso de bola grande, 1.37 %; bola media, 1.46% y finalmente bola chica, 0.6%. Lo anterior difiere con lo encontrado en el presente estudio, en donde se obtuvo un alto porcentaje de semilla tipo bola (42%), lo que puede explicarse por el

hecho de que no hubo buena sincronía en la floración, ya que cuando esto sucede, el porcentaje de semilla tipo bola se incrementa (Vallejo *et al.*, 2008).

En el Cuadro 13 donde se muestra el rendimiento de las dos formas con sus respectivos tres tamaños; se puede observar que la fertilización no provocó efecto alguno ni la interacción; la densidad de población en cambio sí tuvo efecto en RENDPM, RENDBM y RENDBC.

Cuadro 13. Cuadrados medios y sus significancias estadísticas para el rendimiento por forma y tamaño de grano.

F. V.	RENDPG	RENDPM	RENDPC	RENDBG	RENDBM	RENDBC
D	202631.31 0.063	1691417.81 0.0005	837197.1 0.06	288055.32 0.17	773216.09 0.04	332422.43 0.011
F	23583.65 0.75	93219.54 0.53	99625.47 0.54	14981.21 0.91	23138.32 0.82	35558.19 0.19
D·F	27386.64 0.88	243171.70 0.07	282139.41 0.06	148402.04 0.12	130762.76 0.12	28822.85 0.25
CV (%)	26.63	16.24	28.83	34.97	17.8	17.05

RENDPG = rendimiento de plano grande; RENDPM = rendimiento plano medio; RENDPC = rendimiento plano chico; RENDBG = rendimiento bola grande; RENDBM = rendimiento bola media; RENDBC = rendimiento bola chica.

4.11 Comparación de medias para rendimientos por tamaño y forma de grano

El rendimiento de la mayoría de los tipos de semilla resultó modificado por la densidad de población, excepto para plano chico y bola grande (RENDPC y RENDBG); a medida que se incrementa el número de plantas también lo hace la cantidad de semilla, hasta 60 000 para RENDPM ya que con 70 000 se tiene un valor menor; por su parte la fertilización nitrogenada no afectó de manera significativa el comportamiento de las

variables antes mencionadas (Cuadro 14). En la figura 3 se ilustran el rendimiento de semilla plano medio (RENDPM) por ser el tipo de semilla más comercializada por parte de la Planta de Semillas del Colegio de Postgraduados y otras empresas.

Cuadro 14. Comportamiento medio y su significancia estadística para rendimientos por tamaño y forma de grano de maíz.

Densidad	RENDPG	RENDPM	RENDPC	RENDBG	RENDBM	RENDBC
kg·ha ⁻¹						
40000	761.0 b	1770.7 c	1026.3 a	667.9 a	1272.2 b	714.05 b
50 000	932.9 ab	2074.9 bc	1159.6 a	837.1 a	1492.6 ab	766.75 b
60 000	920.2 ab	2466.8 a	1481.6 a	905.9 a	1661.8 ab	940.53 ab
70000	1033.8 a	2400.9 ab	1464.1 a	938.1 a	1778.4 a	1015.84 a
DSH	266.29	353.41	534.38	413.02	472.21	247.19
Dosis N						
70	901.73 a	2305.2 a	1414.4 a	830.1 a	1586.77 a	935.21 a
140	946.64 a	2189.6 a	1250.4 a	843.9 a	1520.49 a	814.43 a
210	862.86 a	2112.6 a	1226.7 a	895.6 a	1581.72 a	840.49 a
280	936.86 a	2105.9 a	1240.1 a	824.3 a	1516.07 a	846.94 a
DSH	231.26	336.85	352.2	282.56	263.03	139.53

RENDPG = rendimiento de plano grande; RENDPM = rendimiento plano medio; RENDPC = rendimiento plano chico; RENDBG = rendimiento bola grande; RENDBM = rendimiento bola media; RENDBC = rendimiento bola chica. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DSH, Tukey, $p \leq 0.05$).

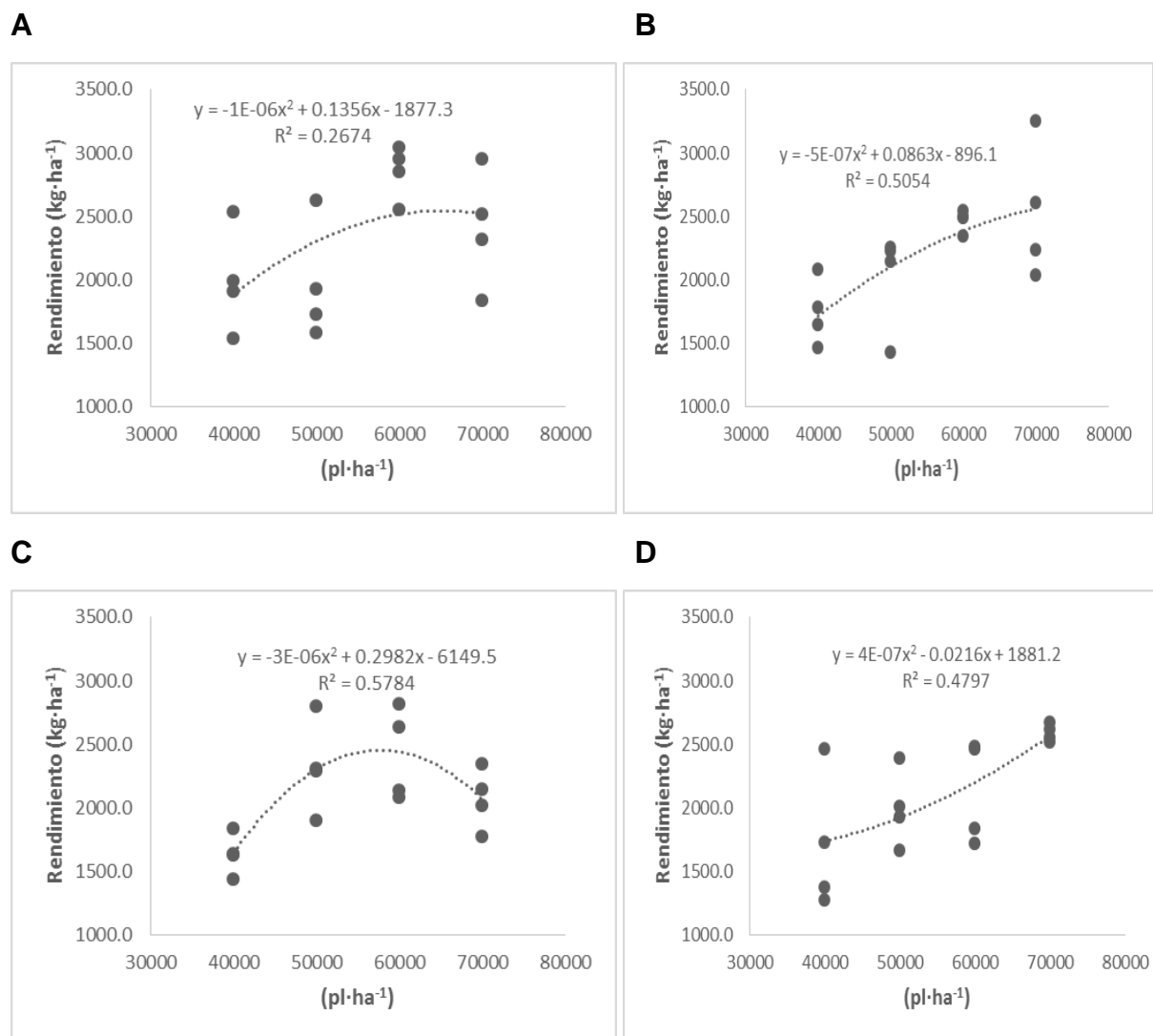


Figura 3. Rendimiento de semilla plano medio (RENDPM) en función de la densidad de población para 70 (A), 140 (B), 210 (C) y 280 kg·ha⁻¹ de Nitrógeno.

Virgen *et al.*, (2010) reportan que la densidad de población no influyó sobre el rendimiento total de semillas, pero sí en los tamaños grande y medio, en donde una alta densidad de población incrementa la cantidad de semilla de tamaño medio, mientras que una baja densidad produce mayor cantidad de semilla de tamaño grande,

lo que coincide con los resultados para el tamaño medio, al menos en parte de este estudio, ya que para el caso de RENDPM, el mayor rendimiento se produce a 60 000 plantas y disminuye con 70 000; para el tamaño medio, el tipo plano aumenta conforme es mayor la densidad de población en tanto que el tipo bola permanece igual, contrastando con los resultados obtenidos por Virgen *et al.*, (2010), debido probablemente al genotipo y a que solo emplearon dos niveles de densidad; aunque también hallaron influencia del ambiente.

4.12 Peso volumétrico

El Cuadro 15 muestra el comportamiento de la variable PV en función de la fertilización y de la densidad de población. Se observa que solo hubo efecto para PVPG por interacción de las dos fuentes de variación. Para el resto de variables, no hubo diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 15. Cuadrados medios y su significancia estadística para peso volumétrico por formas y tamaños de semillas.

F. V.	PVPG	PVPM	PVPC	PVBG	PVBM	PVBC
D	0.364	0.244	0.828	1.88	0.33	0.30
	0.76	0.87	0.69	0.22	0.36	0.65
F	0.746	0.594	0.285	0.86	0.81	0.04
	0.36	0.48	0.78	0.20	0.43	0.96
D-F	1.62	0.47	0.45	0.38	0.48	0.43
	0.031	0.74	0.811	0.68	0.82	0.46
CV (%)	1.01	1.03	1.09	0.89	1.13	0.8

PVPG = peso volumétrico plano grande; PVPM = peso volumétrico plano medio; PVPC = plano volumétrico plano chico; PVBG = peso volumétrico bola grande; PVBM = peso volumétrico bola media; PVBC = peso volumétrico bola chica.

4.13 Comparación de medias para peso volumétrico

Los valores en la variable PV fueron similares para los seis tipos de semilla que se obtuvieron con los 16 tratamientos (4 densidades de población x 4 dosis de nitrógeno) (Cuadro 16); donde los valores fluctuaron entre 81 y 83 kg·hL¹.

Cuadro 16. Comportamiento medio para peso volumétrico en los seis tipos de semillas.

Densidad	PVPG	PVPM	PVPC	PVBG	PVBM	PVBC
kg·hL ⁻¹						
40000	81.56 a	82.21 a	82.33 a	82.20 a	82.10 a	82.58 a
50 000	81.90 a	82.58 a	81.87 a	81.37 a	82.05 a	82.90 a
60 000	81.70 a	82.33 a	82.36 a	81.69 a	82.15 a	82.80 a
70000	81.85 a	82.26 a	82.35 a	81.78 a	82.34 a	82.67 a
DSH	1.0752	1.1325	1.4184	1.1389	0.5826	0.8165
Dosis N						
70	81.85 a	82.25 a	82.13 a	81.51 a	82.05 a	82.78 a
140	81.51 a	82.24 a	82.41 a	82.05 a	81.91 a	82.73 a
210	82.00 a	82.61 a	82.27 a	81.68 a	82.40 a	82.77 a
280	82.00 a	82.61 a	82.11 a	81.79 a	82.27 a	82.66 a
DSH	0.7872	0.8091	0.8543	0.6932	0.8895	0.6334

PVPG = peso volumétrico plano grande; PVPM = peso volumétrico plano medio; PVPC = plano volumétrico plano chico; PVBG = peso volumétrico bola grande; PVBM = peso volumétrico bola media; PVBC = peso volumétrico bola chica. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DSH, Tukey, $p \leq 0.05$).

De acuerdo con los valores obtenidos en las mazorcas que se emplearon como referencia, estos fueron similares y no solo cumplen, sino que superan los requisitos establecidos por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación, los que indican que el valor mínimo debe ser 75 kg·hL⁻¹ (Moreno, 1984), por lo que es semilla de buena calidad para este parámetro.

4.14 Dimensiones de grano y peso de 100 semillas

El Cuadro 17 muestra las dimensiones de los granos y el peso de 100 semillas de los diferentes tamaños y formas. Tanto densidad de población como fertilización nitrogenada no tuvieron efecto significativo alguno sobre las variables y solo la interacción de los dos factores mostró efecto para P100BG.

Cuadro 17. Cuadrados medios y su significancia estadística de las fuentes de variación para las dimensiones de granos (PM) y peso de 100 semillas para las dos formas con tres tamaños.

F. V.	AG	EG	LG	P100P G	P100PM	P100P C	P100 BG	P100B M	P100B C
	cm		gr						
D	0.00013	0.00020	0.0025	2.14	0.568	5.060	0.276	0.903	0.948
	0.84	0.09	0.74	0.71	0.94	0.41	0.98	0.89	0.91
F	0.00027	0.00021	0.0012	0.054	0.565	1.881	6.336	1.395	1.184
	0.47	0.41	0.81	0.99	0.80	0.57	0.05	0.52	0.64
D-F	0.00016	0.00029	0.0044	1.149	1.889	4.716	5.197	0.963	3.088
	0.84	0.24	0.37	0.70	0.39	0.13	0.04	0.85	0.20
CV (%)	2.11	3.14	5.86	2.84	3.28	4.86	3.07	3.18	4.02

AG = ancho de grano; EG = espesor de grano; LG = longitud de grano; P100PG = peso de 100 semillas plano grande; P100PM = peso de 100 semillas plano medio; P100PC = peso de 100 semillas plano chico; P100BG = peso de 100 semillas bola grande; P100BM = peso 100 semillas bola media; P100BC = peso 100 semillas bola chica.

4.15 Comparación de medias para dimensiones de grano y peso de 100 semillas

Valores medios para dimensiones de grano y pesos de 100 semillas son mostrados en el Cuadro 18, en donde se puede apreciar que el comportamiento de estas variables no fue afectado por los niveles de los factores estudiados.

Cuadro 18. Comparación de medias para dimensiones de grano y peso de 100 semillas.

Densidad	AG	EG	LG	P100PG	P100PM	P100PC	P100BG	P100BM	P100BC
	Cm			Gr					
40000	0.836 a	0.471 a	1.081 a	45.468 a	40.400 a	35.212 a	49.506 a	42.881 a	36.443 a
50 000	0.841 a	0.472 a	1.057 a	45.206 a	40.175 a	34.156 a	49.350 a	42.350 a	35.887 a
60 000	0.841 a	0.469 a	1.088 a	45.075 a	40.262 a	34.818 a	49.562 a	42.987 a	36.400 a
70000	0.843 a	0.465 a	1.079 a	44.606 a	39.950 a	33.975 a	49.262 a	42.868 a	36.537 a
DSH	0.0247	0.0093	0.0855	2.3649	2.4496	2.427	2.6575	2.3424	2.6357
Dosis N									
70	0.835 a	0.467 a	1.063 a	45.125 a	40.093 a	34.675 a	48.431 a	43.018 a	36.531 a
140	0.840 a	0.465 a	1.075 a	45.037 a	40.475 a	34.675 a	49.781 a	42.918 a	36.125 a
210	0.845 a	0.472 a	1.082 a	45.125 a	40.056 a	34.768 a	49.843 a	42.737 a	36.087 a
280	0.840 a	0.473 a	1.084 a	45.068 a	40.162 a	34.043 a	49.625 a	42.412 a	36.525 a
DSH	0.017	0.0141	0.0602	1.2233	1.2573	1.5988	1.4457	1.297	1.3908

AG = ancho de grano; EG = espesor de grano; LG = longitud de grano; P100PG = peso de 100 semillas plano grande; P100PM = peso de 100 semillas plano medio; P100PC = peso de 100 semillas plano chico; P100BG = peso de 100 semillas bola grande; P100BM = peso 100 semillas bola media; P100BC = peso 100 semillas bola chica. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DSH, Tukey, $p \leq 0.05$).

Los valores para las dimensiones de grano son similares a los de la caracterización del material que se empleó como referencia, excepto para LG en donde éste es mayor (1.17 cm). Para la variable peso de 100 semillas, el valor de todas las proporciones de las dos formas son ligeramente inferiores al del material de referencia. Existe evidencia de que un retraso en la polinización causa un incremento en el peso del grano (Uribelarrea *et al.*, 2007; Borrás *et al.*, 2003), a causa de una mayor acumulación de fotosintatos (Gambín *et al.*, 2006). Los resultados de este estudio difieren con los obtenidos por los autores antes señalados y tal diferencia puede ser atribuida a la calidad del suelo, ya que al suelo en donde fue producida la semilla que se empleó como referencia, se le hacen aplicaciones constantes de estiércol, además de que el cultivo anterior fue alfalfa que tuvo una duración de aproximadamente 6 años.

4.16 Correlación entre variables

Las correlaciones significativas entre variables de campo (Cuadro 19) muestran que el IC, LMZ y DMZ resultaron afectados fuertemente por la floración femenina.

Los porcentajes de los diferentes tamaños y las dos formas muestran alta correlación con FEM, excepto para plano grande (PPG), como se muestra en el Cuadro 18. Lo anterior puede atribuirse a que la falta de polen provocó un incremento en semilla tipo bola (Vallejo *et al.*, 2008; MacRobert *et al.*, 2014), ya que en condiciones normales de producción, el progenitor hembra del híbrido HS-2 da 97% de semilla tipo plano (Bustamante, 2010), aunque el porcentaje alto puede deberse a las cribas utilizadas, ya que los valores para el material de referencia con las cribas empleadas en este experimento fueron: 73.27% de

semilla tipo plano y 26.73% de tipo bola, a diferencia del 57% de plano como valor medio en los tratamientos del experimento en cuestión.

Cuadro 19. Coeficientes de correlación y significancia estadística entre floración femenina y las proporciones por forma y tamaño de semillas.

Variable	PP	PB	PPG	PPM	PPC	PBG	PBM	PBC
FEM	-0.35	0.349	0.06	-0.31	-0.25	0.18	0.37	0.22
	0.0046	0.0046	0.60	0.01	0.041	0.14	0.002	0.08

FEM= floración femenina; PP= porcentaje de semilla tipo plano; PB= porcentaje de semilla tipo bola; PPM= porcentaje de semilla tipo plano medio; PBM= porcentaje de semilla tipo bola media, PBC= porcentaje de semilla tipo bola chica.

4.17 Rendimiento de semilla comercial por unidades y por peso para cada tratamiento

En los Cuadros 20 y 21 se presentan los rendimientos en unidades de semilla y kilogramos, respectivamente en función del tratamiento. En el primer caso el mejor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 9, 60 000 plantas y 70 kg de nitrógeno por hectárea; para el segundo, la mayor producción se dio cuando se emplearon 70 000 plantas y 70 kg de nitrógeno por hectárea correspondientes al tratamiento 13.

Cuadro 20. Rendimiento medio en unidades·ha⁻¹ y en bolsas de 60 000 unidades en función del tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento unidades·ha ⁻¹	Bolsas/ha	Tratamiento	Rendimiento unidades·ha ⁻¹	Bolsas/ha
9	22 985 037	383.08	7	18 934 089	315.55
16	22 419 007	373.65	6	18 066 188	301.10
13	22 196 984	369.95	5	17 839 285	297.30
14	21 636 069	360.60	8	17 051 948	284.20
11	20 496 610	341.63	1	16 201 784	270.03
15	20 001 960	333.35	2	15 035 929	250.60
10	19 757 714	329.30	3	14 933 910	248.90
12	19 705 260	328.43	4	14 839 492	247.35

DSH= 3 860 000, para rendimiento en unidades (Tukey, $p \leq 0.05$)

Cuadro 21. Rendimiento medio en kg y número de bolsas de 20 kg en función del tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento kg·ha ⁻¹	Bolsas/ha	Tratamiento	Rendimiento kg·ha ⁻¹	Bolsas/ha
13	9 122.5	456.12	7	7 477.9	373.89
16	8 970.7	448.53	6	7 369.3	368.46
9	8 943	447.15	5	7 366.7	368.33
14	8 659	432.95	8	6 841.1	342.05
11	8 386.5	419.325	1	6 461.5	323.07
12	8 103.2	405.16	3	6 263.4	313.17
10	8 074.8	403.74	2	6 158.3	307.91
15	7 952.5	397.62	4	5 965.4	298.27

DSH= 1758 para rendimiento en kg (Tukey, $p \leq 0.05$)

La comercialización de semilla híbrida de maíz se hace en dos modalidades, por unidades o por peso (Luna, 2011). La mayoría de las empresas venden por número de semillas (millares) con los argumentos de que el cultivo de maíz es sensible a las densidades de población, ya si estas están por debajo del óptimo disminuye el rendimiento, en tanto que si la población excede el óptimo, se incrementa el costo, siendo necesario tener más control sobre este factor de la producción; un segundo argumento es que el peso de semilla es muy variable de acuerdo con el tamaño y el genotipo, lo que hace impreciso el control de la densidad con las implicaciones antes mencionadas. Diversos estudios en los que se apoyan las empresas que comercializan por unidades de semillas, sostienen que no existe diferencia en vigor por efecto del tamaño de semilla (Thomison, 1998, Elmore y Abendroth, 2005; Molatudi y Marigam, 2009); además, también se sostiene que la separación por tamaño y forma ya no es necesaria gracias al empleo de sembradoras de precisión neumáticas (Beck, 2002). Contrario a lo antes expuesto, otros autores sostienen que hay influencia por el tipo y tamaño de semilla sobre el vigor (Graven y Carter, 1990; Yusuf *et al.*, 2014; El-Abady, 2015), por lo que se debe considerar la importancia material genético, así como las condiciones en las que se empleará la semilla, y en el caso en que exista diferencia en vigor a causa del tamaño de semilla, comercializar por unidades pero separadas por forma y tamaño para lograr un establecimiento uniforme en campo, y en consecuencia una buena cosecha.

V. CONCLUSIONES

1. Existe respuesta positiva del rendimiento de semilla total, así como semilla tipo plano medio y grande, y de los tipos bola media y chica, a la densidad de población, mientras que el nitrógeno no tuvo alguna influencia estadística sobre estas variables. Las variables de calidad física: PV, P100s y dimensiones de grano no fueron estadísticamente afectadas por ninguno de los dos factores de estudio.
2. Por número de semillas, el mejor tratamiento es el de 60 000 plantas·ha⁻¹ y 70 kg de nitrógeno que da un total de 22 985 037 unidades de semilla por hectárea.
3. En rendimiento por peso, la mejor combinación es 70 000 plantas y 70 kg de nitrógeno que da un rendimiento de 9 122.5 kg por hectárea.
4. Se encontró evidencia de que cuando no existe buena sincronía en la polinización, hay una reducción en el número de granos por hilera y se incrementa la cantidad de semilla tipo bola con relación a la tipo plano.
5. La aplicación de una alta cantidad de nitrógeno (280 kg) no provocó efecto negativo alguno sobre las variables evaluadas.

VI. LITERATURA CITADA

- Ambika, S., V. Manonmani y G. Somasundaram. 2014. Review on effect on seed size on seedling vigor and seed yield. *Journal of Seed Science* 7: 31-38.
- Andrade F. H., M. E. Otegui y C. Vega. 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agronomy Journal* 92: 92-97.
- Artola M., A. 1983. Influencia del genotipo y las prácticas culturales en la producción de semilla híbrida de sorgo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Beck, D. L. 2002. Management of hybrid maize seed production. CIMMYT.
- Blas M., J. y J. Ramírez D. 2002. Respuesta de híbridos a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24: 333: 338.
- Borrás, L., M. E. Westgate y M. E. Otegui. 2003. Control of kernel weight and kernel number water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Annals of Botany* 91: 857-867.
- Bubert, J. M. 2014. Genetic improvement for nitrogen utilization in maize. Tesis de Master of Science in Crop Sciences, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Bustamante Z., J. E. 2010. Calidad física y fisiológica en semillas de híbridos de maíz de los Valles Altos centrales de México y su relación con el establecimiento en campo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Caro V., F. de J. 1987. Estudio metodológico para determinar formulas óptimas de producción de semilla de maíz de buena calidad. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Cervantes-Ortiz, F., J. Covarrubias-Prieto, J. A. Rangel-Lucio, A. D. Terrón-Ibarra, M. Mendoza-Elos y R. E. Preciado-Ortiz. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 24: 101-110.

- Chapman, S. C., J. Crossa y G. O. Edmeades. 1997. Genotype by environmental effects and selection for drought tolerance in tropical maize. I. Two mode pattern analysis of field. *Euphytica* 95: 1-9.
- Chen, G. y R. R. Weil. 2011. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil & Tillage Research* 117: 17-27.
- Ciampiti, I. A. y T. J. Vyn. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Research* 121: 2-18.
- Claro A., A., M. Monedero, S. Hernández, V. Somoza y L. Sánchez. 2000. Efecto de la compactación del suelo en la producción de frijol. *Agronomía Mesoamericana*. 11: 53-57.
- Claro, A. A., M. Monedero, S. Hernández, V. Somoza y L. Sánchez. 2000. Efecto de la compactación del suelo en la producción de frijol. *Agronomía Mesoamericana*. 11: 53-57.
- Cristobal A., D., M. E. Álvarez S., E. Hernández A., R. Maldonado T., M. Pérez G. y R. Castro B. 2008. Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *Terra Latinoamericana* 26: 317-324.
- D'Andrea, K. E., M. E. Otegui, A. G. Cirilo y G. H. Eyhéabide. 2009. Ecophysiological traits in maize hybrids and their parental inbred lines: Phenotyping of responses to contrasting nitrogen supply levels. *Field Crop Research* 114: 147-158.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31: 74-85.
- El-Abady, M. I. 2015. Influence of maize seed size/shape, planted at different depths and temperatures on seed emergence and seedling vigor. *Research Journal of Seed Science* 8: 1-11.
- Ellis, R. H., R. J. Summerfield. G. O. Edmeads y E. H. Roberts. 1992. Photoperiod, Leaf Number, and Interval from Tassel Initiation to Emergence in Diverse Cultivars of Maize. *Crop Science* 32: 398-403.
- Elmore, R. and L. Abendroth. 2005. Do corn kernel size and shape matter?: Corn production. Iowa State University.
- Espinosa A., N. Gómez, M. Sierra, E. Betanzos, F. Caballero, B. Coutiño, A. Palafox, F. Rodríguez, A. García y O. Cano. 2003. Tecnología y Producción de semilla de híbridos y variedades sobresalientes de maíz de calidad proteínica (QPM) en México. *Agronomía Mesoamericana* 14: 223-228.

- Espinosa, A., M. Tadeo, H. Medina, J. R. Gutiérrez y M. Luna. 2001. Alternativas para favorecer la polinización y producción de semilla del híbrido H-311 de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 12: 229-235.
- Espinosa-Calderón A., A. Turrent-Fernández, M. Tadeo-Robledo, A. San Vicente-Tello, N. Gómez-Montiel, R. Valdivia-Bernal, M. Sierra-Macías y B. Zamudio-González. 2014. Ley de semillas y ley federal de variedades vegetales y transgénicas de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 293-308.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, M. Sierra-Macías, F. Caballero-Hernández, R. Valdivia-Bernal y N. O. Gómez-Montiel. 2010. Despanojado y densidad de población en una cruce simple androestéril y fértil de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 21: 159-165.
- FAPRI (Food and Agricultural Policy Research Institute). 2011. Consultado el 24 de octubre de 2014. Disponible en <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2011/>.
- FAS/USDA, 2015. Grain: World Markets and Trade, disponible en <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>
- Gambín, B. L., L. Borrás y M. E. Otegui. 2006. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperature hybrids. *Field Crops Research* 95: 316-326.
- García R., J. J., M. A. Ávila P., J. D. De la Torre V. y C. Herrera C. 2014. Diferentes patrones de siembra en la producción de semilla del híbrido de maíz H-135. *AGROFAZ* 14: 43-49.
- García-Salazar, J. A. y R. Ramírez-Jaspeado. 2014. El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays L.*) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 69-77.
- Gaytán B., R. y N. Mayek P. 2010. Heterosis en híbridos de maíz producidos de cruzamientos entre progenitores de Valles Altos x Tropicales. *Investigación y Ciencia* 48: 4-8.
- González A., L. 2008. Elaboración de un mapa de suelos y evaluación de su calidad en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, estado de México. Tesis de licenciatura. Colaboración entre Universidad Autónoma Chapingo y Universidad de Lleida, España.
- González-Rojas, K., J. A. García-Salazar, J. A. Matus-Gardea y T. Martínez-Saldaña. 2011. Vulnerabilidad del mercado nacional del maíz (*Zea mays L.*) ante cambios exógenos internacionales. *Agrociencia* 45: 733-744.
- Gordón-Mendoza, R., I. Camargo-Buitrago, J. Franco-Barrera y A. González-Saavedra. 2006. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14

- híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 17: 189-199.
- Graven, L. M. and P. R. Carter. 1990. Seed size/shape and tillage system effect on corn growth and grain yield. *J. Prod. Agric.* 3: 445-452.
- Guan, Y. J., Z. F. Wang, S. J. Zhu, J. C. Wang y A. Knapp. 2013. Time series regression analysis between changes in kernel size and seed vigor during developmental stage of *sh2* sweet corn (*Zea mays* L.) seeds. *Scientia Horticulturae* 154: 25-30.
- Hebblethwaite, P. D. 1980. *Seed Production*. London and Boston: Butterworth. 694 p.
- Hernández L., A. 1985. Efecto de la fertilización y densidad de población en el rendimiento y calidad de semilla de girasol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Jaurixje, M., D. Torres, B. Mendoza, M. Henríquez y J. Contreras. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro* 25: 47-56.
- Jiang W., K. Wang, Q. Wu, S. Dong, P. Liu y J. Zhang. 2013. Effects of narrow plant spacing on root distribution and physiological nitrogen use efficiency in summer maize. *The Crop Journal* 1: 77-83.
- Jurado G., P., M. Luna L., R. Barreto H., M. Royo M. y A. Melgoza C. 2006. Producción y calidad de forraje y semilla del zacate navajita con la aplicación de biosólidos en un pastizal semiárido de Jalisco. *Técnica Pecuaria en México* 44: 289-300.
- Kaesler, O., S. Chowchong y P. Stamp. 2003. Influence of silk age on grain yield components of normal and male-sterile maize (*Zea Mays*, L.). *Maydica* 48: 171-176.
- Kandus, M., D. Almorza, R. Boggio R., y J. C. Salerno. 2010. Statical models evaluating the genotype-environmental interaction in maize (*Zea mays* L.). *PHYTON* 70: 39-46.
- Kuchenbuch, R. O. y K. T. Ingram. 2004. Effects of soil bulk density on seminal and lateral roots of young maize plants (*Zea Mays* L.). *Journal Plant Nutrition Soil Science* 167: 229-235.
- Ladha, J. K., H. Pathak, T. J. Krupnik, J. Six y C. van Kessel. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects. *Advances in Agronomy* 87: 85-156.
- Luna M., B. M. 2011. El mercado de semillas y las posibilidades competitivas para una pequeña empresa productora de semilla certificada de maíz.

Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, México.

- Luna-Mena, B. M., Ma. A. Hinojosa-Rodríguez, O. J. Ayala-Garay, F. Castillo-González y J. A. Mejía-Contreras. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 1-7.
- MacRobert, J. F., P. Setimela, J. Gethi y M. W. Regasa. 2014. *Maize Hybrid Seed Production Manual*. México, D. F. CIMMYT.
- Maddonni, G. A., A. G. Cirilo y M. E. Otegui. 2006. Row width and maize grain yield. *Agronomy Journal* 98: 1532-1543.
- Materechera, S. A., A. M. Alston, J. M. Kirby y A. R. Dexter. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and soil*. 144: 297-303.
- Mendoza R., R., E. Hernández R., J. I. Cortés F., A. Turrent F., L. A. Lerma V. y E. Aceves R. 2002. Tecnologías sobre fertilización, densidad de población y variedades en maíz a escala comercial. *Terra Latinoamericana*. 20: 485-495.
- Mendoza, M., L. Latournerie, E. Moreno, G. Castañón, J. C. Carrillo, C. De León y J. G. García. 2004. Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. *Agronomía Mesoamericana* 15: 155-160.
- Meza H., A. P. 1998. Efecto de la pérdida de hojas en el desespigamiento sobre productividad y calidad de semilla de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
- Molatudi, R. L. and I. K. Mariga. 2009. The effect of maize seed size and depth of planting on seedling emergence and seedling vigour. *Journal of Applied Sciences Research* 12: 2234-2237.
- Moreno M., E. 1984. *Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 383 p.
- Mulla J. D. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* 114: 358-371.
- Muñoz-Huerta, R. F., R. G. Guevara-González, L. M. Contreras-Medina, I. Torres-Pacheco, J. Prado-Olivarez y R. V. Ocampo-Velázquez. 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: Advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors* 13:10823-10843.
- OCDE/FAO (2013), OCDE-FAO *Perspectivas Agrícolas 2013-2022*, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo.

- Ortiz-Torres, E., A. Carballo-Carballo, A. Muñoz-Orozco y F. V. González-Cossio. 2010. Efecto de la dispersión de polen en la producción de semilla de maíz, en Texcoco, México. *Agronomía Mesoamericana* 21: 289-297.
- Pérez de la C., F. de J., L. Córdova T., A. Santacruz V., F. Castillo G., E. Cárdenas S. y A. Delgado A. 2007. Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. *Agricultura Técnica en México* 33: 5-16.
- Pérez M., C., A. Hernández L., F. V. González C., G. García de los S., A. Carballo C., T. R. Vásquez R. y Ma. Del R. Tovar G. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México* 32: 341-352.
- Pérez-López, F. J., R. Lobato-Ortiz, J. de J. García-Zavala, J. D. Molina-Galán, J. de J. López-Reynoso y T. Cervantes-Santana. 2014. Líneas homocigóticas de maíz de alto rendimiento como progenitores de híbridos de cruza simple. *Agrociencia* 48: 425-437.
- Pérez-López, F. J., R. Lobato-Ortiz, J. de J. García-Zavala, J. D. Molina-Galán, J. de J. López-Reynoso, T. Cervantes-Santana. 2014. Líneas homocigóticas de maíz de alto rendimiento como progenitores de híbridos de cruza simple. *Agrociencia* 48: 425-437.
- Raya P., J. C., C. L. Aguirre M., J. G. Medina O., J. G. Ramírez P., E. Andriño E., A. Castellanos S. y J. Covarrubias P. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola* 3: 663-641.
- Rossini, M. A., G. A. Maddonni y M. E. Otegui. 2011. Inter-plant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: Variability in plant and ear growth. *Field Crops Research* 121: 373-380.
- Ruíz C., J. A., N. Durán P., J. de J. Sánchez G., J. Ron P., D. R. Gonzáles A., J. B. Hollad y G. Medina G. 2008. Climatic Adaptation and Ecological Descriptors of 42 Mexican Maize Races. *Crop Science* 48: 1502-1512.
- Rutger, J. N. 1917. Effect of plant density on yield of inbred lines and single crosses of maize (*Zea mays* L.). *Crop Science* 11: 475-476.
- SAGARPA 2007. Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas. Diario oficial. Pp: 1, 2.
- SAGARPA. 2007. Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semilla. Diario Oficial. Pp: 2.

- Sangoi, L. M. A. Gracietti, C. Rampazzo y P. Bianchetti. 202. Response of Brazilian maize hybrids from different era to changes in plant density. *Field Crops Science* 79: 39-51.
- Scheiner, J. D., F. H. Gutierrez-Boem y R. S. Lavado. 2000. Root Growth and Phosphorus Uptake in Wide –and Narrow- Row Soybeans. *Journal of Plant Nutrition* 23: 1241-1249.
- SEA. Normas para la Certificación de Semillas. 1975. México, DF. 91p.
- SIAP (Servicio de Información Alimentaria y Pesquera) 2013. (En línea). Consultado el 14 de octubre de 2014. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.
- Sierra M., M., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., N. Gómez M, F. Caballero H., S. Barrón R., A. Zambada M. y G. Vázquez C. 2008. H-520, híbrido trilineal para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México* 34: 119-122.
- SNICS. 2015. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Disponible en: http://snics.sagarpa.gob.mx/certificacion/Documents/Estad%C3%ADstic as%20Producci%C3%B3n%20de%20Semillas/AA_11-14.pdf (consultado 14 de octubre de 2015).
- SQI-USDA, 1999. Soil Quality Test Kit Guide, consultado 08 de octubre de 2015, disponible en http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, D. Beck y J. L. Torres. 2007. Rendimiento de cruza simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México* 33: 175-180.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, N. Chimal, I. Arteaga-Escamilla, V. Trejo-Pastor, E. Canales-Islas, M. Sierra-Macías, R. Valdivia-Bernal, N. O. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero y B. Zamudio-Gonzáles. 2012. Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Terra Latinoamericana* 30: 157-164.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, R. Valdivia-Bernal, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías y B. Zamudio-Gonzáles. 2010. Vigor de las semillas y productividad de variedades de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 21: 31-38.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, V. Trejo-Pastor, I. Arteaga-Escamilla, E. Canales-Islas, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, R. Valdivia-Bernal, N. O. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero y B.

- Zamudio-González. 2013. Eliminación de espiga y hojas en progenitores androestériles y fértiles de los híbridos trilineales de maíz H-47 y H-49. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 245-250.
- Thomison, P. 1998. Does seed corn size affect hybrid performance?. Corn: crop observation and recommendation network. Department of agriculture. Ohio State University Extension, USA.
- Tokatlidis, I. S., V. Has, V. Melidis, I. Has, I. Mylonas, G. Evgenidis, A. Copandean, E. Ninou y V. A. Fasoula. 2011. Maize hybrids less dependent on high plant densities improve resource-use efficiency in rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research* 120: 345-351.
- Torres F., J. L., D. Lewis B., A. Carballo C. y J. A. Estrada Gómez. 2004. Técnicas para sincronizar floración en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agricultura Técnica en México* 30: 89-100.
- Torres-Ruíz, B. L., A. Espinosa-Calderón, M. Mendoza-Rodríguez, J. L. Rodríguez-de la O, M. B. Irizar-Garza y J. S. Castellano-Ruíz. 2007. Efecto de brasinoesteroides en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Agronomía Mesoamericana* 18: 155-162.
- Tosquy V., O. H., R. de la Garza G., G. Castañón N. y R. Morones P. 1998. Fertilización edáfica y densidades de población para producción de semilla de líneas de maíz. *Agricultura Técnica en México* 24: 11-119.
- Uribelarrea, M., J. Cárcova, L. Borrás, M. E. Otegui. 2007. Enhanced kernel set promoted by synchronous pollination determines a tradeoff between kernel number and kernel weight in temperate maize hybrids. *Field Crops Research* 105: 172-181.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2012. USDA Agricultural Projections to 2021. Consultado el 24 de octubre de 2014. Disponible en http://www.usda.gov/oce/commodity/archive_projections/USDAgriculturalProjections2021.pdf.
- Valadez-Gutiérrez., J., L. E. Mendoza-Onofre, L. Córdova-Téllez, H. Vaquera-Huerta, Ma. Del C. Mendoza-Castillo y G. García-de los Santos. 2007. Tamaños de semillas, sustancias vigorizantes y pruebas de vigor en sorgos tolerantes al frío. *Agrociencia* 41: 169-179.
- Valdivia R., V. A. Vidal y M. Sierra. 2000. Selección de progenitores de maíz para la obtención de semilla híbrida por pequeños agricultores. *Agronomía Mesoamericana* 11: 85-89.
- Vallejo D., H. L., J. L. Ramírez D., M. Chuela B. y R. Ramírez Z. 2008. Manual de Producción de Semilla de Maíz. Estudio de Caso. Folleto Técnico Núm. 14. Campo Experimental Uruapan. INIFAP, CIRPAC. Guadalajara, Jalisco, México. 96 p.

- Vidal M., V. A., M. D. Clegg, B. E. Johnson, J. E. Osuna G., B. Estrada C. 2004. Phenotypic plasticity and pollen production components in maize. *Agrociencia* 38: 273-284.
- Virgen V., J., J. L. Arellano V., I. Rojas M., M. A. Ávila P. y G. F. Gutiérrez H. 2010. Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 107-110.
- Virgen-Vargas, J., R. Zepeda-Bautista, M. A. Ávila-Perches, A. Espinosa-Calderón, J. L. Arellano-Vázquez y A. L. Gámez-Vázquez. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana* 25: 323-335.
- Wilhelm, W. W., B. E. Johnson y J. S. Schepers. 1995. Yield, quality, and nitrogen use in inbred corn with varying numbers of leaves removed during detasseling. *Crop Science* 35: 209-212.
- Yusuf, C. S., N. Makate and R. Jacob. 2014. Effect of seed size on germination and early growth of maize (*Zea mays*). *International Journal of Scientific and Research Publications* 4: 1-3.
- Zepeda B., R., Carballo C., A., Alcántar G., G., Hernández L., A. y Hernández G., A. 2002. Efecto de Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de semilla de cruza simples en maíz. *Sociedad Mexicana de Fitogenética* 4 (25): 419-426.