

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**RESPUESTA A DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN Y DENSIDADES
DE POBLACIÓN DE UNA VARIEDAD EXPERIMENTAL DE MAÍZ AMARILLO**

TESIS

**Que presenta Andrés Gustavo Rodríguez Núñez
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS**

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESPUESTA A DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN Y DENSIDADES DE
POBLACIÓN DE UNA VARIEDAD EXPERIMENTAL DE MAÍZ AMARILLO

TESIS

Que presenta Andrés Gustavo Rodríguez Núñez
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

Nombre del Director (UAAAN)

Nombre del Director Externo

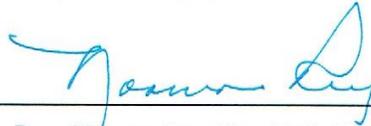
Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2016

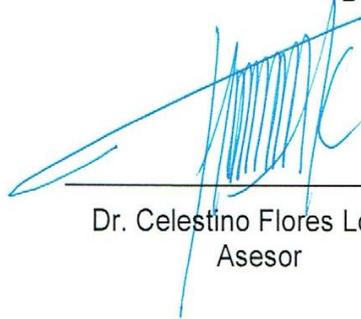
RESPUESTA A DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN Y DENSIDADES
DE POBLACIÓN DE UNA VARIEDAD EXPERIMENTAL DE MAÍZ AMARILLO

Tesis

Elaborada por ANDRÉS GUSTAVO RODRÍGUEZ NÚÑEZ como requisito
parcial para obtener el grado DE MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y
SEMILLAS con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



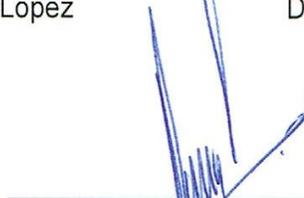
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Asesor Principal



Dr. Celestino Flores López
Asesor



Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Posgrado
UAAAN

Agradecimientos

A **DIOS PADRE** por ser el guía en mí camino, por darme la fuerza y voluntad para levantarme y luchar ante todo en la vida.

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

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

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

A la **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres**, por permitirme ser parte del equipo de trabajo de investigación, además por orientarme en la realización del presente trabajo.

Al **Dr. Celestino Flores López**, por la orientación y dirección del presente trabajo de investigación.

Al **Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar**, por la orientación y dirección del presente trabajo de investigación.

Dedicatorias

A mis padres:

Sr. Alfonso Rodríguez Montesinos y Sra. Bersabe Núñez Ramos

Por brindarme su apoyo y confianza en esta etapa de mi vida, por sus consejos, por querer siempre lo mejor para mí, por la dedicación de cada día para guiarme por el camino correcto, por todo lo que hacen por mí, por quererme tanto. Por todo el amor y cariño que me brindan, gracias.

A mi hermana y hermanos:

Beatriz Adriana Rodríguez Núñez, Juan Carlos Rodríguez Núñez, José Rodríguez Núñez (†) y Jesús Rodríguez Núñez (†).

Les agradezco a ellos por el apoyo incondicional que me demostraron en cada momento.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos.....	IV
Dedicatorias.....	V
Índice de contenido.....	VI
Índice de cuadros.....	VIII
Índice de figuras.....	X
Resumen.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos	2
Hipótesis	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Importancia del maíz	3
Efecto del ambiente en la producción de semilla	4
Sistemas de producción	5
Densidades de población y niveles de fertilización	6
Composición química del grano de maíz	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Material genético.	11
Estudio I. Dosis de fertilización y densidades de población en campo.	11
Estudios de Laboratorio.....	13
Estudio II. Caracterización de mazorca y de semilla.....	14
Estudio III. Calidad fisiológica de la semilla obtenida en campo.	14
Estudio IV. Índice de flotación.	15
Estudio V. Análisis bromatológico.	16
Estudio VI. Índice de Velocidad de Emergencia (IVE).	22
Análisis estadístico.	22
Análisis estadístico en el ensayo de campo.	22

Análisis estadístico para los ensayos de laboratorio.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Estudio I. Dosis de fertilización y densidades de población en campo.....	24
Estudio II. Caracterización de mazorca y semilla.....	29
Estudio III. Calidad fisiológica.....	32
Estudio IV. Índice de flotación.	37
Estudio V. Análisis bromatológico.....	42
Estudio VI. Índice de velocidad de emergencia.	47
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS	59

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición química del grano de maíz.	10
Cuadro 2. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización.	16
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables evaluadas.	29
Cuadro 4. Comparación de medias para variables evaluadas en campo para los diferentes tratamientos.	29
Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la caracterización de mazorcas y semillas.	31
Cuadro 6. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con la caracterización de mazorcas y semilla.	31
Cuadro 7. Comparación de medias para variables asociadas con la caracterización de mazorcas y semilla para los diferentes tratamientos.	34
Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en calidad fisiológica.	35
Cuadro 9. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con la calidad fisiológica.	35
Cuadro 10. Comparación de medias para variables asociadas con la calidad fisiológica para los diferentes tratamientos.	38
Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas.	39
Cuadro 12. Comparación de medias para ambiente para el índice de dureza.	39
Cuadro 13. Comparación de medias para las variables asociadas con el índice de dureza para los diferentes tratamientos.	40
Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas.	43

Cuadro 15. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con el análisis bromatológico.	43
Cuadro 16. Comparación de medias para variables asociadas con el análisis bromatológico para los diferentes tratamientos.	46
Cuadro 17. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el estudio de velocidad de emergencia en invernadero.	45
Cuadro 18. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con el índice de velocidad de emergencia.	45
Cuadro 19. Comparación de medias para variables asociadas con el índice de velocidad de emergencia.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Promedios para longitud de radícula y longitud de plúmula en el ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción densidad por ambiente.	33
Figura 2. Promedios para vigor y germinación del ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción fertilización por ambiente.	33
Figura 3. Promedios de granos flotantes para dureza de grano en la interacción fertilización por ambiente.	41
Figura 4. Promedios de granos flotantes para dureza de grano en la interacción fertilización por densidad.	41
Figura 5. Promedios de nitrógeno, proteína y extracto etéreo para el análisis bromatológico en la interacción fertilización por ambiente.	45
Figura 6. Promedios de longitud de radícula y plúmula para el índice de velocidad de emergencia en la interacción fertilización por ambiente.	48

RESUMEN

RESPUESTA A DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN Y DENSIDADES DE POBLACIÓN DE UNA VARIEDAD EXPERIMENTAL DE MAÍZ AMARILLO

POR

ANDRÉS GUSTAVO RODRÍGUEZ NÚÑEZ

MAESTRIA PROFESIONAL EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DRA. NORMA ANGÉLICA RUÍZ TORRES - ASESOR

Buenavista, Saltillo, Coahuila

Diciembre, 2016

Respuesta a diferentes dosis de fertilización y densidades de población de una variedad experimental de maíz amarillo. Los objetivos del presente trabajo fueron 1) Determinar el efecto de la interacción entre dos dosis de fertilización y tres densidades de población, en el rendimiento de semilla y caracteres de la mazorca de maíz, 2) Evaluar el efecto de interacción entre dos dosis de fertilización y tres densidades de población, en la calidad fisiológica de la semilla de maíz y 3) Conocer el efecto de la interacción de dos dosis de fertilización y tres densidades de población sobre la calidad bromatológica y la dureza del grano. Se utilizó semilla de la cosecha primavera verano 2014 del ejido El mezquite, Galeana, N.L., la semilla se obtuvo de cinco mazorcas como muestra representativa de cada unidad experimental, producto de la combinación de dos dosis de fertilización (120-60-60 y 180-60-60) de N-P-K y tres densidades de población (60, 70 y 80 mil plantas ha⁻¹). Se realizaron seis estudios I) Dosis de fertilización y densidades de población en campo; II) Caracterización de mazorca y de semilla; III) Calidad fisiológica de la semilla obtenida en campo; IV) Índice de flotación; V) Análisis bromatológico; VI) Índice de velocidad de emergencia. En todos los estudios los datos fueron analizados en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial. Resultados: Estudio I. Se encontró diferencias significativas entre bloques para las variables asincronía floral (ASI) y rendimiento (REN), y para ASI en la fuente de variación dosis de fertilización, donde al realizar la comparación de medias se obtuvo el valor más alto al aplicar 120 unidades de nitrógeno (0.58 días). Estudio II. De acuerdo a la caracterización de mazorca y de semilla, se observó diferencias entre ambientes para longitud de mazorca (LMAZ) y espesor de semilla (ES), en el ambiente cuatro se obtuvo la mayor longitud con 17.02 cm y un espesor de 4.81 mm. Para densidad de población se obtuvo diferencia estadística en las variables LMAZ y longitud de semilla (LS), con 16.63 cm y 11.83 mm, respectivamente. En la fuente de variación fertilización, la variable diámetro de olote (DOLO) presentó diferencias significativas, observándose el valor más alto (29.43 mm), al aplicar 180 unidades de nitrógeno. Estudio III. En el estudio de calidad fisiológica de la semilla, la fuente de variación ambiente presentó

diferencias significativas para la variable peso seco de plántula (PS), con el valor más alto para el ambiente cuatro (77.39 mg/plántula) y para la variable longitud de radícula (LR) con 18.28 cm en el ambiente dos. Para el factor densidad de población, la variable LR presentó el mayor valor con 18.53 cm para 70 mil plantas por ha⁻¹ y la mayor longitud de plúmula (LP) (11.86 cm) para 60 mil plantas por ha⁻¹. En el factor dosis de fertilización, se obtuvo diferencias para vigor, LP y LR, siendo estadísticamente superior la dosis con 120 unidades de nitrógeno. Estudio IV. En el estudio de índice de flotación se presentó diferencias significativas en el número de granos flotantes para los factores ambiente y dosis de fertilización, sin embargo el endospermo se clasificó como muy duro. Estudio V. El análisis bromatológico presentó diferencias estadísticas para todas las variables, a excepción del porcentaje de materia seca total (MST). La fuente de variación densidad de población presentó mayor porcentaje de nitrógeno en semilla (1.43 %) para 60 mil plantas por ha⁻¹; por otra parte, la variable contenido de carbohidratos con 80.57 % para 80 mil plantas por ha⁻¹, para dosis de fertilización en 180 unidades de nitrógeno el porcentaje de nitrógeno fue mayor (1.41 %); en el caso del contenido de fibra, es mayor a menor cantidad de nitrógeno aplicado. Estudio VI. Índice de velocidad de emergencia. El ambiente influyó estadísticamente en la variable LR, para el ambiente 2 se registró el mayor valor con 13.49 cm. Para densidad de población, el porcentaje de emergencia total de plántulas fue de 100 % para 70 mil plantas por ha⁻¹, mientras que para PS no se encontraron diferencias significativas, y la LR resultó mayor (13.43 cm) a menor densidad de población. En la fuente de variación dosis de fertilización, las variables PS (127.97 mg/plántula) y LR (13.40), presentaron los valores más altos con 180 unidades de nitrógeno. En los estudios se presentó también interacciones entre las fuentes de variación.

Palabras clave: maíz amarillo, ambiente, densidad de población, dosis de fertilización.

ABSTRACT

RESPONSE TO DIFFERENT FERTILIZATION DOSIS AND POPULATION
DENSITIES OF A YELLOW CORN EXPERIMENTAL VARIETY

BY:

ANDRÉS GUSTAVO RODRÍGUEZ NÚÑEZ

MASTER GRAIN AND SEED TECHNOLOGY

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

PhD. Norma Angélica Ruiz Torres

Buenavista, Saltillo, Coahuila

Diciembre, 2016

Response to different fertilization doses and population densities of a yellow corn experimental variety. The objectives of this research work were: 1) To determine the effect of the interaction between two fertilization doses and three population densities, in seed yield and ear characteristics. 2) To evaluate the effect of the interaction between two fertilization doses and three population densities, in the physiological seed corn quality. 3) To know the effect of the interaction between two fertilization doses and three population densities on the bromatological composition and grain hardness.

Seed from the 2014 spring – summer season, harvested in the ejido El Mezquite, Galaena, N.L., was used. Seed was obtained from five corn ears, as a representative sample from each experimental unit, derived from each combination of two fertilization doses (120-60-60 and 180-60-60) of N-P-K and three population densities (60, 70 y 80 thousand plants ha⁻¹). Six studies were carried out: I) Application of different doses of fertilization and population densities under field conditions, II) Corn ears and seeds characterization, III) Physiological quality of field grown seed; IV) Grain flotation index, V) Bromatological analysis, and VI) Emergence speed index. All data was analyzed in a completely randomized block design with factorial arrangement.

Results: Study I. Significant differences were found among blocks for floral asynchrony (ASI) and grain yield (REN), and for ASI in the fertilization doses, where the application of 120 units of nitrogen resulted in the highest value (0.58 days). Study II. According to the corn seed and ear characterization, it was observed differences among environments for ear length (LMAZ) and seed width (ES), the fourth environment showed the largest ear length with 17.02 cm and the best width of seed with 4.81 mm. For population densities, statistical differences were found for LMAZ and seed length (LS) with 16.63 cm and 11.83 mm, respectively. In the doses of fertilization variation source, the variable ear cob diameter (DOLO) had significant differences, showing the highest value (29.43 mm), with de application of 180 nitrogen units. Study III. Physiological seed quality, the source of variation environments showed significant differences

for the variable seedling dry weight (PS), with the highest value for the environment number four (77.39 mg/seedling) and for the variable root length (LR), with 18.28 cm for the environment number two. For the population density factor, the variable LR showed the highest value with 18.53 cm for 70 thousand plants/ha and the largest plumule length (LP) (11.86 cm) for 60,000 plants/ha. In the fertilization doses, differences for seed vigor were found in the variables plumule and radicle length, being statistically superior the doses with 120 units of nitrogen. Study IV. In the flotation index study, significant differences were found for the number of floating grains, in the environment and doses of fertilization factors, however in all cases de endosperm was classified as very hard. Study V. The bromatological analysis showed significant differences for all variables, except for the percentage of total dry matter (MST). The source of variation population density, showed the best percentage of nitrogen content in the seed (1.43 %) for 60,000 plants/ha; on the other hand, the variable carbohydrates content had 80.57 % for 80,000 plants/ha. For doses of fertilization with 180 units of nitrogen, the percentage of nitrogen in the grain was higher (1.41 %); however, for the grain fiber content, it was higher when less nitrogen was applied. Study VI. Speed emergence index. The environment had an effect in the root length (LR) variable, in the environment number two a superior value was found with 13.49 cm (LR). For population densities, the percentage of total emergence of normal seedlings was 100 % for 70 thousand plants/ha, however for PS no significant differences were found; LR was higher (13.43 cm) in the lesser density. In the doses of fertilization variation source, the variables PS (127.97 mg/seedling) and LR (13.40 cm) showed the highest values with the application of 180 units of nitrogen. Interactions among variables were also found.

Key words: yellow corn, environment, population density, fertilization doses.

Palabras clave: maíz amarillo, ambiente, densidad de población, dosis de fertilización.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más importante desde el punto de vista alimentario, industrial político y social. En relación a su producción, en 2012 ocupó el primer lugar, seguido del arroz de cáscara y el trigo (FAO, 2013), siendo el único cultivo que puede ser utilizado como alimento para consumo humano y por el ganado en sus diferentes etapas de desarrollo. Entre los ciclos comerciales 2004/05 y 2014/15, la producción de maíz en el mundo presentó un crecimiento promedio anual de 3.5 por ciento para ubicarse en este último en 1,008.7 millones de toneladas, lo que representó el nivel de producción más alto de la historia (FIRA, 2015).

En México el maíz es el cultivo de mayor importancia porque contribuye con el 18 % del valor de la producción del sector agrícola y concentra el 33 % de la superficie cultivada en el territorio nacional, el cual consta de 7.5 millones de hectáreas, alcanzando un volumen de producción de grano cerca de 22.7 millones de toneladas (SIAP-SAGARPA, 2014).

México es deficitario en maíz amarillo y actualmente es uno de los mayores importadores a nivel mundial comprando al exterior 8.15 millones de toneladas en 2012, 7 millones en 2013, más de 10 millones de toneladas en 2014 y 8.15 en 2015 (Agrosíntesis, 2016). El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud del alto contenido nutricional. Por otra parte, el maíz amarillo se destina al procesamiento industrial y a la alimentación animal. Por tal motivo, se requiere incrementar la producción de maíz de grano amarillo para subsanar su déficit y reducir su importación. El uso de nuevas tecnologías para incrementar la producción de grano de maíz que incluye la aplicación de insumos agrícolas, fórmulas de fertilización, combinados con densidades de población y uso de genotipos criollos adaptados a la región, los cuales demandan menor cantidad de el uso de los mismos, son alternativas de

producción que potencialmente puedan mejorar la cantidad y calidad del grano de maíz producido en México.

Considerando la importancia de incrementar los rendimientos y calidad del grano de maíz, se realizó la presente investigación con los siguientes objetivos e hipótesis.

Objetivos

Determinar el efecto de la interacción entre dos dosis de fertilización y tres densidades de población en el rendimiento de semilla y caracteres de la mazorca de maíz.

Evaluar el efecto de interacción entre dos dosis de fertilización y tres densidades de población en la calidad fisiológica de la semilla de maíz.

Conocer el efecto de la interacción de dos dosis de fertilización y tres densidades de población sobre la calidad bromatológica y la dureza del grano.

Hipótesis

La interacción de las dosis de fertilización y densidades de población en maíz amarillo, puede generar variación en el rendimiento, características varietales de la mazorca, calidad fisiológica, bromatológica y dureza del grano.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz

El maíz es el cereal más importante del mundo debido a la tendencia creciente de diversificación en sus usos dentro de los que se pueden mencionar; consumo humano, pecuario e industrial para la producción de almidón, glucosa, dextrosa, fructosa, aceites, botanas y etanol, además para la elaboración de algunas bebidas alcohólicas y otros productos utilizados como materia prima en la industria minera, textil, electrónica, farmacéutica, alimentaria, etcétera (SIAP-SAGARPA, 2014).

Los principales países productores de maíz son Estados Unidos con 282 millones de toneladas, China con 139 millones, la Unión Europea con 48 millones, Brasil con 41 millones y México con 19.2 millones de toneladas, que representa el dos punto ocho por ciento del total mundial (Arvizu, 2011).

Aun así, México es el tercer país importador de maíz con 6.8 millones de toneladas, después de Japón y la República de Corea que importan 16.6 y 8.5 millones de toneladas respectivamente (Arvizu, 2011).

En el periodo 2005 a 2009, se sembraron en promedio siete punto nueve millones de hectáreas de maíz, del total solo el 15 y el 85 por ciento fue establecido bajo sistema de riego y bajo temporal con rendimiento promedio de 7.05 y 2.16 t ha⁻¹, respectivamente (INIFAP, 2011).

De acuerdo con SHCP y FND (2014), (31) el maíz es el cultivo más importante en la agricultura, en la economía nacional y desde el punto de vista social en México, y participa con el 18 por ciento del valor de la producción del sector agrícola equivalente a 88 mil para 2012 y 78 mil millones de pesos en el año siguiente, y concentró el 33 % de la superficie cultivada en el territorio nacional, específicamente, siete punto cinco millones de hectáreas.

Del total de la producción nacional, el 8 % corresponde al maíz amarillo; este se produce y consume más comúnmente en el norte del país, a diferencia del maíz

blanco, que se cultiva y consume en la zona centro y en la región sur del país (Arvizu, 2011). El maíz amarillo, al igual que el blanco, se utiliza para el consumo humano en una amplia variedad de platillos, sin embargo, el principal destino es la alimentación del ganado, además es una fuente importante materia prima para la extracción y producción de almidón y derivados, como edulcorantes, aceite, biocombustibles como el bioetanol (SAGARPA-SIAP, 2014); estos últimos en cierta medida ya lo están utilizando en la industria química y en algunos casos como reemplazo de los derivados del petróleo por ser de origen orgánico menos contaminante.

Considerando la importancia del maíz amarillo en México, es importante incrementar su producción para subsanar el déficit y reducir su importación.

Efecto del ambiente en la producción de semilla

Los factores del ambiente tienen gran influencia sobre el desarrollo y la calidad de la semilla; las plantas tienen la capacidad de ajustar la producción de semillas a la disponibilidad de recursos y al efecto del ambiente en el cual se desarrollan y completan su ciclo de vida, (Luna *et al.*, 2005; Torres *et al.*, 2010).

Córdova (1991) menciona que el principal objetivo en el mejoramiento del maíz es la estabilidad del rendimiento o la respuesta consistente a condiciones óptimas y subóptimas, dado que los científicos se esfuerzan por obtener progresos en rendimientos que sean sostenidos y duraderos con el fin de satisfacer la demanda de alimentos. Lo anterior puede lograrse con el desarrollo de germoplasma cuya respuesta sea consistente a través de ambientes marginales y bajo presión de factores limitantes bióticos y abióticos, que respondan positivamente a ambientes favorables. Cuando los genotipos se evalúan a través de diferentes ciclos y localidades, el ambiente consiste en numerosos factores físicos, químicos y biológicos actuando independientemente e interactuando entre ellos.

Algunas características de las semillas están influenciadas por el ambiente de producción. La densidad de población es, entre otros, el de mayor importancia

en la producción de semilla de maíz, y se refleja en la calidad de la semilla comercial (Raya *et al.*, 2012).

Por otra parte, Virgen *et al.* (2014) mencionan que en la producción de semilla de maíz es básico conocer las características genéticas de los progenitores (líneas y cruza simples), el ambiente (cantidad y distribución de la precipitación y temperatura, radiación y características físico-químicas del suelo) y la interacción genotipo - ambiente, con el fin de obtener el mejor rendimiento y calidad de semilla, al menor costo y con el uso eficiente de los insumos y recursos naturales conducente a una agricultura sustentable.

Sistemas de producción

Durante el año 2010, en México se sembraron 8, 221, 518 ha de maíz con diferentes propósitos y finalidades, producción de forraje, grano y semilla, de las cuales solo el 80 % de esa superficie fue cosechable. La diferencia de porcentaje se perdió por diversos factores, principalmente baja precipitación y problemas bióticos; el rendimiento medio por hectárea logrado en maíz para grano fue de 3.24 t, en forraje 27.22 t, en semilla 7.56 t. Del total, 1.5 millones de hectáreas correspondió a semillas de variedades mejoradas, por lo tanto 6, 721,518 ha se manejó en condiciones de secano. Sin disponer de semillas de variedades mejoradas como opción para incrementar el rendimiento por unidad de superficie para este cultivo, los productores resolvieron esta necesidad con la utilización de variedades criollas (Andrío, 2011).

Sin embargo, las semillas de las razas nativas y las semillas de las variedades que conservan y prefieren los agricultores no son manejadas dentro de esquemas organizados de producción, son ellos mismos quienes producen y conservan sus propias semillas, aun así, el sistema de producción de semillas con deficiencia de organización, puede ser mejorado brindando capacitación a los agricultores para realizar un mejor proceso de selección y mantenimiento de sus variedades y semillas (Sharanjit y Douglas, 1992).

En este sentido, los sistemas de producción de semillas deben ser formalizados y organizados, con la finalidad de obtener semillas de buena calidad de variedades de polinización abierta, así como materiales híbridos que puedan ser producidos y puestos a disposición de los agricultores. Las semillas de variedades de polinización abierta son más fáciles de desarrollar y mantener, por su costo de producción, en relación a semillas de materiales híbridos. Los agricultores pueden conservar sus materiales para el próximo ciclo, sin depender de sistemas de producción de semillas organizados, considerando las prácticas de manejo e insumos necesarios para el cultivo de variedades de polinización abierta son similares a aquellas de las razas nativas (Paliwal *et al.*, 2001).

Por otra parte, los sistemas de producción de semillas de híbridos están bajo control del sector privado y por supuesto, es más organizado y eficiente que el sistema para variedades de polinización abierta, que generalmente se encuentra en manos del sector público. Pero los híbridos requieren de mayores cantidades de agua y son más productivos, sin embargo representan un pequeño porcentaje del área de producción (Paliwal *et al.*, 2001).

Densidades de población y niveles de fertilización

La forma de incrementar los rendimientos en cuanto a la producción de maíz se refiere, es combinando eficientemente factores tales como; dosis de fertilización, densidades de población, uso de semillas mejoradas, etcétera. El nitrógeno y el fósforo son los elementos que con mayor frecuencia limitan la obtención de altos rendimientos, diferentes estudios indican que una adecuada aplicación de estos macronutrientes al suelo redituará en un aumento en el rendimientos de grano y principalmente en el aspecto proteico (Cano *et al.*, 2001).

La densidad de población, es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos, en el maíz ejerce alta influencia sobre el rendimiento del grano y las características agronómicas,

pues el rendimiento se incrementa con la densidad de población, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto (Sangoi, 2000). Sin embargo, no todos los genotipos presentan la misma respuesta a altas densidades de plantas (Cano *et al.*, 2001).

El productor generalmente modifica la densidad de población, pero no siempre establece la más apropiada. Si el productor utiliza una densidad de población mayor que la óptima, incrementa la competencia por luz, agua y nutrimentos, lo que ocasiona reducción en el volumen radical, número de mazorcas, cantidad y calidad del grano por planta e incrementa la frecuencia de pudriciones de raíz y tallo, propiciando acame (Maya y Ramírez, 2002). Por el contrario, las densidades de población bajas provocan problemas de maleza o de desperdicio de suelo (Njoka *et al.*, 2005).

Diferentes investigadores han estudiado los efectos de las densidades de población en el rendimiento de diversos materiales genéticos en maíz. Cano *et al.* (2001) trabajaron con híbridos de maíz en el trópico y demostraron que al aumentar la densidad de 50 mil a 62 500 plantas ha^{-1} se obtuvo un incremento en el rendimiento del grano de 0.30 t ha^{-1} .

Ortíz y Solano (1987) realizaron un estudio en Benito Juárez, Chih., la finalidad fue evaluar los niveles óptimos de nitrógeno, fósforo y la interacción con densidades de población, usaron una variedad conocida como Compuesto Blanco y el híbrido W-1188, con esta prueba confirmaron que ambos materiales responden mejor con la aplicación de 200 kg ha^{-1} y 150 kg ha^{-1} de nitrógeno y fósforo, respectivamente. En lo que concierne a la densidad de población, la mejor respuesta para la variedad fue de 50 mil plantas por hectárea con rendimiento de 7.6 t ha^{-1} , para el híbrido fue de 75 mil plantas por hectárea con 8.3 t ha^{-1} .

Morales (1998) en un estudio sobre fertilización y densidades de población en líneas de maíz, realizado en el campo experimental de Rio Bravo, Tamaulipas,

con un diseño en bloques al azar en parcelas divididas, donde la parcela principal fueron las líneas T₃₈ T₄₁ y T₄₂; mientras que las parcelas menor fueron las combinaciones de fertilización con las densidades de población, utilizando niveles de fertilización de 0 a 184 kg ha⁻¹ de nitrógeno; para fósforo de 0 a 92 kg ha⁻¹, con densidades de población de 25 mil a 75 mil plantas por hectárea, encontraron que la línea con mayor rendimiento fue T₃₈ con 4.3 t ha⁻¹. Por otra parte la línea T₄₁ presentó un mayor porcentaje de grano con 82.8 % y un menor número de plantas acamadas (9.85 %), en relación con T₃₈ con 16 % y T₄₂ fue mejor en cuanto al porcentaje de mazorcas correspondiente al 90 %, mayor número de días a floración masculina, menor porcentaje de mazorcas con mala cobertura (14.9) y presentó un porcentaje de cuateo alto (24.91 %). El incremento del rendimiento alcanzó el máximo cuando el nivel de nitrógeno fue de 83 y para fósforo de 41 kg ha⁻¹, con la densidad de población de 74,752 plantas ha⁻¹.

En otro trabajo, Espinosa y Tadeo (1990) evaluaron dos cruza simples progenitoras del híbrido H-137, a tres dosis de fertilización: 160-70-30, 0-150-0 y 300-0-0 de N-P-K y cuatro densidades de población 45, 60, 75 y 80 mil plantas ha⁻¹, con la finalidad de estudiar su efecto en la productividad y en la coincidencia a floración. No encontraron diferencias en la floración a causa de densidades de población, ni por la fertilización nitrogenada y fosfórica, además la densidad óptima que presentó mayor rendimiento para ambos progenitores fue de 60 mil plantas ha⁻¹.

De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) en un estudio en el Municipio Centro, Tabasco, evaluaron el rendimiento de grano de nueve genotipos de maíz, poblaciones 21, 22, 23, 25, 32, 43, 49, y como testigos el híbrido HS-3G y la variedad VS-536, sembrados bajo las densidades de población de 44,289, 53, 200 y 66,500 plantas por ha⁻¹. Encontraron que el rendimiento osciló entre 3,072 y 4,253 kg ha⁻¹ en los genotipos de la población 43, testigo HS-3G, población 21, 25, y 23 y la densidad con mejores resultados para la variable fue de 66,500 plantas ha⁻¹.

De acuerdo a los estudios reportados anteriormente, se observa que la respuesta tanto a la dosis de fertilización como a la densidad de población, depende en gran medida del genotipo.

Composición química del grano de maíz

En la generación de nuevos cultivares de maíz se toman en cuenta diferentes aspectos, entre los que se puede mencionar los fisiológicos, generación de materia seca, tasa de asimilación neta y otros parámetros fisiotécnicos que permiten seleccionar entre variedades. Se prefiere las de mayor eficiencia en la utilización de insumos y manifiesten un mayor potencial productivo, además de ser resistentes a plagas y enfermedades. También se toma en cuenta la calidad de la semilla en relación a la tolerancia, al deterioro natural y su mejor respuesta al momento del establecimiento en campo (vigor y capacidad germinativa). Por otro lado está la calidad industrial del grano, debido a que se requieren materiales con características específicas, que permitan el procesamiento sencillo, con alto rendimiento y producción de harinas de calidad para nixtamalización; por lo que se debe conocer la composición química, ya que tanto los híbridos y las variedades sembradas en México, gran parte no reúne tales exigencias, probablemente se deba a que el objetivo es principalmente la producción de grano, destinado para consumo animal (Andrio, 2011).

La composición química es diferente en cada una de las partes que conforman el grano de maíz. La cubierta seminal o pericarpio contiene un elevado contenido de fibra cruda (87 %) (Burge y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un elevado nivel de almidón (87 %), un 8 por ciento de proteínas y un nivel bajo de grasas crudas. Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas, con alrededor de 33 por ciento, y también contiene un nivel de proteínas y minerales cercanos al 20 por ciento (Watson, 1987).

Cuadro 1. Composición química del grano de maíz.

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: Watson, 1987.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación comprendió seis estudios; uno en campo, cuatro en laboratorio: caracterización de mazorca y semilla, índice de dureza de grano, análisis bromatológico y calidad fisiológica de la semilla; y un último en invernadero para determinar el índice de velocidad de emergencia.

Material genético.

Se utilizó semilla de una variedad experimental de grano amarillo, adaptada a la región sureste del estado de Coahuila, resultante de diversas estrategias de manejo y selección. La variedad experimental fue obtenida a partir de selección de familias segregantes de la cruce entre pool 33 x pool 34 provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Estudio I. Dosis de fertilización y densidades de población en campo.

El experimento se estableció en la localidad El Mezquite del municipio de Galeana, Nuevo León, ubicado en las siguientes coordenadas geográficas 24° 49' de latitud Norte y 100° 05' de longitud Oeste, a una altitud de 1890 msnm, en tipo de suelo xerosol-cálcico, con un promedio de precipitación pluvial media anual de 405.6 mm, con temperatura de 4.9 °C como mínima y 26.3 °C como máxima, de acuerdo con SMN (2010).

La preparación del terreno consistió en un barbecho de 25 a 30 cm y rastreo con ayuda de tractor e implementos agrícolas. La parcela experimental estuvo constituida por dos surcos de 4.0 m de largo, con una separación de 0.85 m entre surcos, con un promedio de 30 semillas cada uno. La siembra se realizó durante el ciclo Primavera- Verano de 2014, bajo sistema de riego con un pivote central. Realizada la siembra se aplicó la fórmula 60-60-60 (N-P-K) en toda la parcela. Durante la escarda y previo al aporque se realizó una segunda aplicación con las fórmulas: 60-00-00 y 120-00-00 (N-P-K) para obtener los

niveles de 120-60-60 y 180-60-60 respectivamente. Posteriormente se realizó un aclareo para tener solo 22, 25 y 28 plantas por surco, de tal forma obtener una densidad de población de 60, 70 y 80 mil plantas ha^{-1} , con cuatro repeticiones para cada nivel de fertilización y densidad de población. Lo anterior conforma un diseño factorial 2×3 , con dos dosis de fertilización y tres densidades de población.

Se evaluaron las siguientes variables:

1. Floración masculina. Se consideró los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la parcela experimental inició la liberación de polen de las espigas (anthesis).
2. Floración femenina. Se registró el número de días transcurridos desde la siembra, hasta que el 50 % de las plantas en cada parcela presentó los estigmas receptivos.
3. Altura de planta. Se identificó una planta promedio de la parcela y se registró su altura en centímetros, la medición de la variable se realizó desde la base de la planta hasta el inicio de la ramificación de la espiga.
4. Altura de mazorca. En la planta se tomó la lectura de altura en centímetros, desde la base hasta el nudo de la mazorca principal.
5. Mala cobertura. Se registró el porcentaje de plantas cuya mazorca no fue cubierta totalmente por las brácteas, en relación con el total de plantas establecidas en cada parcela.
6. Prolificidad. Se registró como la relación entre el número de mazorcas a la cosecha y el número de plantas por parcela.
7. Humedad de grano. Contenido de humedad del grano al momento de la cosecha y se expresó en porcentaje. Para lo cual se determinó en campo con la ayuda de una unidad portátil DICKY JOHN®, que calcula automáticamente de manera directa el contenido de humedad en el grano al momento de la cosecha.

8. Asincronía floral. Se determinó por diferencia entre días a floración femenina y días a floración masculina.
9. Rendimiento de grano. Se expresó en $t\ ha^{-1}$, y se calculó con el 12 % de humedad, considerando un porcentaje de desgrane del 85 %. La determinación del rendimiento de grano se calculó con la siguiente ecuación.

$$REND = PC * \frac{100 - \%HC}{100 - \%HD} * D * \frac{10000m^2}{APUm^2}$$

Dónde:

REND = Rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$

PC = Peso de campo; g.

%HD = Contenido de humedad de grano a la cosecha.

%HC = Contenido de humedad deseada (12 %)

D = Porcentaje de desgrane.

APU = Área de parcela útil (distancia entre surco x distancia entre planta x número de plantas establecidas).

Estudios de Laboratorio.

Los estudios de laboratorio se realizaron en el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.

Para estos estudios, el material genético utilizado fue la semilla proveniente de la cosecha en campo y los bloques se consideraron como ambientes debido a la variación que pudiera haberse presentado dentro de cada uno de ellos, como las condiciones físicas, químicas, factores bióticos y abióticos que de una u otra manera influyen en el comportamiento de las variables evaluadas.

Estudio II. Caracterización de mazorca y de semilla.

La caracterización de las mazorcas y la semilla se realizó de acuerdo con los descriptores para maíz (SNICS, 2013). (105) Para lo cual se registró solo características cuantitativas, que comprende el número de hileras por mazorca, número de semillas por hilera, longitud, diámetro y peso de mazorca, peso de 1000 semillas, diámetro de olote, peso y dimensión de semilla. Para el registro del peso se empleó una balanza digital marca Precisa[®] Modelo BJ 610C y para el resto de las variables se utilizó un calibrador vernier marca STAINLESS[®].

Estudio III. Calidad fisiológica de la semilla obtenida en campo.

Se realizó mediante pruebas de germinación y vigor. Se sembraron 3 repeticiones con 25 semillas cada una, provenientes de diferentes tratamientos (dosis de fertilización y densidades de población), entre papel Anchor previamente humedecido enrollado en forma de taco, posteriormente se introdujeron en bolsas de polietileno para después, ser acomodadas en tres diferentes canastillas de plástico, con un arreglo en bloques al azar, la cual se llevó a una cámara germinadora marca LAB-LINE[®], a una temperatura de 25 °C.

Al cuarto día se evaluó el vigor y al séptimo la germinación, se registró los datos de número de plántulas normales (plántulas con radícula y plúmula perfectamente desarrolladas), anormales (plántulas que no cuentan con sus estructuras bien desarrolladas o en ocasiones carecen de alguna de ellas), y semillas sin germinar. En plántulas normales se midió la longitud de plúmula y de radícula con una regla expresada en centímetros y se determinó el peso seco (tasa de crecimiento de plántulas), llevándolas a un horno de secado marca RIOSSA[®] modelo H-48 a temperatura constante de 70 °C durante 24 horas, trascurrido este tiempo se extrajeron del horno y con la utilización de un desecador se dejaron enfriar durante 20 minutos para ser pesados. El peso se reporta en mg/plántula.

Estudio IV. Índice de flotación.

El método para la determinación de dureza del grano (DOF, 2002: NMX-FF-034/1-SCFI-2002) se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad (índice de flotación), comparado con los granos de menor densidad, en la solución de nitrato de sodio (NaNO_3).

Para llevar a cabo el ensayo, se empleó 123 g de NaNO_3 , esta cantidad se colocó en un vaso de precipitado para disolverse en agua destilada, aforando a 300 ml para obtener una densidad de 1.25 g ml^{-1} ($\pm 0.001 \text{ g ml}^{-1}$). El vaso con la solución se llevó a una parrilla para agitar con ayuda de un magneto, dicha solución se mantuvo a una temperatura de 22°C a 23°C . Para verificar la densidad de la solución de NaNO_3 , se tomó el peso del picnómetro solo, del picnómetro más agua destilada, y del picnómetro más la solución de NaNO_3 en una balanza analítica, mientras que la densidad se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Peso NaNO}_3 = \text{Peso del picnómetro con NaNO}_3 - \text{Peso del picnómetro solo}$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso del NaNO}_3}{(\text{Peso del picnómetro con agua destilada} - \text{Peso del picnómetro solo})}$$

La densidad como se mencionó anteriormente debe ser igual a 1.25 g ml^{-1} , de lo contrario de aumentar esta cantidad, se agregó agua destilada a la solución, o en su caso NaNO_3 , si la densidad fuera menor.

Se tomaron 100 granos libres de impurezas y se vertieron en la solución de NaNO_3 , separando las semillas unas de otras por medio de un agitador de vidrio durante un minuto previo a la toma de la lectura. Se realizó con repeticiones para cada una y se revisó la densidad de la solución cada dos determinaciones. El número de granos que ascendieron a la superficie se usó el índice de flotación, el cual se basa en la densidad del grano, los granos duros son de mayor densidad por lo que flotan en menor cantidad en una solución de

NaNO₃. Este parámetro se ha relacionado directamente con el tiempo de cocción térmico-alkalina, en el proceso de nixtamalización (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización.

Granos Flotantes	Dureza	Tiempo de cocción
0-12	Muy duros	45
13-37	Duros	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy suaves	25

Fuente: DOF (2002): NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

Estudio V. Análisis bromatológico.

El análisis bromatológico del grano permite determinar la calidad nutrimental de éste a través del estudio de los distintos componentes nutricionales que forman parte de la dieta alimenticia, como son materia seca, cenizas, materia orgánica, por ciento de nitrógeno, proteína cruda, extracto etéreo o grasa, fibra y carbohidratos. Para cada unidad experimental se realizó el análisis con dos repeticiones de acuerdo con el manual de la A.O.A.C. (1990).

Materia seca total

La materia seca, es la muestra a la que se le extrae el agua por acción del calor y la constituyen sustancias que contienen carbono o materia orgánica, por lo tanto es susceptible a quemarse y que aporta energía al alimento, pero también lo integra sustancias que no pueden quemarse y los residuos que forman son cenizas cuando se someten a calcinación. La materia seca total se obtiene mediante la evaporación total de la humedad a una temperatura de que varía entre 100-105°C.

El procedimiento para calcular la materia seca se describe a continuación:

Se utilizó crisoles de porcelana a peso constante, para ello se dejaron en un horno de secado marca Arsa modelo AR-220 durante 24 horas a una temperatura de 100 °C, transcurrido este tiempo se sacaron del horno con apoyo de unas pinzas para introducirlos a un desecador durante 20 minutos para enfriarlos y posteriormente pesarlos, se pesaron dos gramos de muestra molida con un molinillo de uso doméstico para granos, los dos gramos de muestra fueron depositados utilizando una espátula en crisoles por separado claramente identificados para introducirlos nuevamente en el horno durante 12 horas para después enfriar en el desecador y pesar.

Los datos que se registraron fueron el número y peso del crisol, peso del crisol más la muestra fresca y el peso del crisol más la muestra seca, con estos datos se estimó la materia seca total de la siguiente manera:

$$\% \text{ MST} = \frac{(\text{peso de crisol} + \text{muestra seca}) - \text{peso de crisol vacío}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Con el dato de material seca total, se determinó también el contenido de humedad de la siguiente manera:

$$\% \text{H} = 100 - \% \text{ MST}$$

Cenizas

Las cenizas son el producto de las sustancias que no se queman luego de someterlas a calcinación, una muestra que contiene materia orgánica y otros compuestos a base de carbono, es decir, la porción incombustible (cenizas) se determina quemando la porción combustible mediante una elevada temperatura (calcinación) que puede ser de 500-600°C.

Para determinar las cenizas, se requirió de las muestras después de haber determinado la materia seca total, los crisoles con la materia seca se pre incineraron en parrillas hasta que se quemó la muestra, con las pinzas se

introdujeron en la mufla durante un periodo de dos horas a una temperatura constante de 600 °C, al término se esperó que la temperatura descendiera para extraer los crisoles y colocarlos en el desecador para enfriarlos por completo durante 20 minutos y pesarlos.

Se registró el número de crisol, peso del crisol, peso del crisol más la muestra seca y el peso del crisol más cenizas, con estos datos se calculó el porcentaje de cenizas de la forma siguiente:

$$\%C = \frac{(\text{peso de crisol} + \text{cenizas}) - \text{peso de crisol solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Con los valores obtenidos de materia seca total y ceniza, se pudo obtener el porcentaje de materia orgánica:

$$\% MO = \% MST - \% \text{ Cenizas}$$

Proteína cruda

Se utiliza el término de cruda para indicar que son determinaciones de entidades químicas no puras, sino que además se obtienen otros compuestos nitrogenados que no son estrictamente proteínas.

El porcentaje de proteína cruda se determinó por el método de digestión y destilación de Kjeldah (DOF, 1980: NMX-F-068-S-1980), el principio básico del método se basa en la conversión del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas en amonio.

El procedimiento fue el siguiente: se pesó un gramo de muestra molida y se colocó en el matraz Kjeldah, envuelta totalmente en un trozo de papel filtro, se agregó una cucharada de muestra reactiva de selenio y tres perlas de vidrio, con precaución se añadieron 30 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se colocó el matraz en el digestor Kjeldhal y se encendió la parrilla y el motor aspirador de gases, hasta que la muestra cambió de color café oscuro a verde claro. Luego de que el matraz se enfrió colocándolo en la corriente de agua de la llave, se agregaron 300 ml de agua destilada. Se agitó el matraz para que la muestra se

disolviera, lentamente y por las paredes del matraz se añadieron 110 ml de hidróxido de sodio al 45 % más tres granallas de zinc, con precaución se llevó al aparato de destilación Kjeldhal, se acomodó en la parte superior y se encendió la parrilla. En un matraz Erlenmeyer se midió 50 ml de ácido bórico y 5 gotas de indicador mixto para recibir hasta 300 ml producto de la destilación.

Con la solución contenida en el matraz Erlenmeyer, se procedió a realizar la titulación con ácido sulfúrico a 0.098 de normalidad, se corrió una en blanco sin muestra y los mililitros gastados de ácido sulfúrico fueron de 0.3 ml. Los datos registrados para determinar por ciento de nitrógeno y proteína cruda fueron: ml de ácido sulfúrico gastados en blanco, ml de ácido sulfúrico gastados en la muestra y normalidad del ácido.

Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

$$\%N = \frac{(ml \text{ de } H_2SO_4 \text{ gastados en la muestra} - ml \text{ de } H_2SO_4 \text{ gastados en blanco}) \times 0.014 \times \text{normalidad del ácido}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Dónde:

- Normalidad del ácido sulfúrico = 0.098 N
- 0.014 = mini equivalente de nitrógeno.
- 1 eq de nitrógeno pesa 14 g/ eq= 14/100 = mili equivalente

$$\%PC = \%N \times 6.25$$

El 6.25 resulta de dividir 100 entre 16, que es el porcentaje de nitrógeno que tienen los alimentos.

Extracto etéreo o grasa

El extracto etéreo o grasa cruda está formada principalmente por lípidos y por otras sustancias que no lo son, pero que son solubles en ciertos solventes de las grasas, por ejemplo: vitaminas liposolubles, fosfolípidos, glucolípidos, ceras, etcétera. Existen diferentes compuestos para la extracción del extracto etéreo

como el hexano y el éter de petróleo que mediante el calor extrae los compuestos solubles hasta que la muestra se seca.

El extracto etéreo se determinó mediante el método de Soxhlet (DOF, 1978: NMX-F-089-S-1978), y se requirió de matraces bola de fondo plano con tres perlas de vidrio que se colocaron en el horno durante 12 horas para llevarlos a peso constante, al ser retirados con una pinza del horno, se introdujeron en el desecador durante 20 minutos para enfriarlos y pesarlos. Luego de obtener el peso se agregó 250 ml de éter de petróleo. En un papel filtro se pesaron dos gramos de muestra molida que se colocó cuidadosamente dentro del dedal de celulosa, el dedal fue introducido en el sifón Soxlet, el matraz fue conectado al sifón y puesto sobre la parrilla.

Cada matraz y dedal fueron identificados de acuerdo a la muestra correspondiente.

El proceso duro aproximadamente 6 horas, transcurrido este tiempo se recuperó el solvente y los matraces fueron retirados e introducidos al horno durante 12 horas para llevarlos a peso constante, al ser retirados con apoyo de unas pinzas se introdujeron al desecador durante 20 minutos y posteriormente obtener el peso del matraz con grasa.

La ecuación para determinar el porciento de extracto etéreo se presenta a continuación:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz vacío}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Fibra

Es la proporción determinada o integrada por la celulosa y otros hidratos de carbono insolubles o que no se disuelven fácilmente.

La metodología para determinar la fibra se describe a continuación.

Se utilizó la muestra desengrasada, para ello se pesó y se depositó en el vaso de Berzelius 100 ml de ácido sulfúrico a 0.255 N. Los vasos con la muestra

fueron acomodados en el digestor Labconco con la máxima temperatura, para dejar hervir durante 30 minutos. Utilizando un filtro, embudo y agua destilada caliente, se filtró la muestra para retirar el ácido sulfúrico, con una espátula se regresó la muestra al vaso, pero en esta ocasión se agregó hidróxido de sodio al 0.313 N dejando hervir durante 30 minutos, transcurrido el tiempo se removió el exceso de hidróxido de sodio con agua destilada caliente. La muestra fue depositada en crisoles para ser introducidos a la estufa durante 12 horas, luego de extraer los crisoles de la estufa utilizando unas pinzas se depositaron en el desecador durante 20 minutos para ser pesados. Se colocaron los crisoles en la mufla durante dos horas a 600 °C, se enfriaron y pesaron, con los datos obtenidos y la siguiente ecuación se determinó el porcentaje de fibra.

$$\% \text{ Fibra} = \frac{\text{peso del crisol mas muestra seca-peso del crisol mas cenizas}}{\text{gramos de muestra desengrasada}} \times 100$$

Carbohidratos

En realidad no se determina por análisis en el laboratorio, sino que se calcula por diferencia. Los carbohidratos se obtienen sumando los porcentajes de cenizas, grasas, proteínas, fibra cruda y se resta de 100 partes de la muestra analizada.

$$\text{Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ C} + \% \text{ Pc} + \% \text{ EE} + \% \text{ F})$$

Dónde:

C = Contenido de cenizas en por ciento

Pc = Contenido de proteína cruda en por ciento

EE = Extracto etéreo en por ciento

F = Fibra

Estudio VI. Índice de Velocidad de Emergencia (IVE).

Esta parte del trabajo de tesis se llevó a cabo en el invernadero con las semillas provenientes de campo, bajo condiciones de estrés, para ello se requirió de suelo pesado para rellenar la cama donde se realizó la prueba. La dimensión de la cama fue de aproximadamente 0.91m por 3.5 m con una profundidad de 0.25 m. Para la siembra se hicieron pequeños orificios de 3 cm de profundidad con separación de 3.5 cm entre ellos. Se utiliza un diseño en bloques al azar, se sembró en filas de 25 semillas por surco, con separación de 5 cm entre ellos.

El IVE se determinó mediante conteos diarios de plántulas emergidas al ras del sustrato hasta el séptimo día, cuando se observó que el número de plántulas se mantuvo constante.

En ese mismo día se extrajeron las plantas del suelo, utilizando una espátula para obtener las plantas con raíces completas. Para remover el exceso de suelo de las raíces se usó agua de la llave para lavarlas cuidadosamente. Se realizaron mediciones de longitud de radícula y plúmula utilizando una hoja milimétrica. Para determinar el peso seco las plántulas se pusieron dentro de una bolsa de papel estraza y estas en una estufa marca Arsa a 70 ° C por 24 horas, al retirar las muestras de la estufa se introdujeron en el desecador durante veinte minutos y posteriormente pesados en la balanza analítica marca Precisa.

Análisis estadístico.

Análisis estadístico en el ensayo de campo.

En el estudio de campo el experimento se estableció bajo un diseño experimental en bloques al azar con arreglo factorial 2x3, en el que los factores fueron:

Factor A: Dosis de fertilización con dos niveles.

Factor B: Densidades de población con tres niveles.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Respuesta de la unidad experimental; μ = Media general; β_k = Efecto del bloque; A_i = Efecto del i-ésimo nivel de fertilización; B_j = Efecto de la j-ésima densidad de población; $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de fertilización con la j-ésima densidad de población; ε_{ijk} = Error experimental.

Análisis estadístico para los ensayos de laboratorio.

Los datos que se obtuvieron de las evaluaciones en laboratorio fueron analizados bajo en bloques completos al azar con arreglo factorial.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde

Y_{ijk} = Respuesta de la unidad experimental; μ = Media general; β_k = Efecto del ambiente; A_i = Efecto del i-ésimo nivel de fertilización; B_j = Efecto de la j-ésima densidad de población; $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de fertilización con la j-ésima densidad de población; ε_{ijk} = Error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los diferentes estudios que incluyeron diferentes dosis de fertilización y densidades de población, se estudió la respuesta a estos factores y su interacción en variables agronómicas, físicas, químicas y fisiológicas, se describen a continuación.

Estudio I. Dosis de fertilización y densidades de población en campo.

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para las variables agronómicas evaluadas en campo, mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre bloques para las variables asincronía floral y rendimiento y para el factor fertilización únicamente en la variable asincronía floral.

Lo anterior es un resultado inesperado, ya que varios autores (Blumenthal *et al.*, 2003 y Yasari 2012), han reportado diferencias significativas en variables agronómicas al incrementar las densidades de población. Así mismo, Mendoza *et al.* (2006) reportaron diferencias significativas al aplicar tres dosis de fertilización nitrogenada.

Para la interacción densidad por fertilización no se encontró diferencias significativas en las variables evaluadas, estos resultados coinciden a los reportados por Cano *et al.* (2001).

En relación a lo anterior, es interesante mencionar que la densidad de población es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos, en el maíz ejerce alta influencia sobre el rendimiento del grano y las características agronómicas, pues el rendimiento se incrementa con la densidad de población, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto (Sangoi, 2000). Sin embargo, no todos los genotipos presentan la misma respuesta a altas densidades de plantas (Cano *et al.*, 2001).

Aunque no se encontraron diferencias significativas para los factores en estudio, se presenta la comparación de medias en el Cuadro 4, se observa una reducción en la altura promedio al incrementar de 70 mil a 80 mil plantas ha⁻¹.

Igualmente, en AMAZ se observa una reducción de 12 cm al incrementar la población de plantas ha^{-1} de 60 a 80 mil.

Por otra parte, en el rendimiento la diferencia numérica fue mínima al aumentar la densidad de siembra de 60 a 80 mil plantas ha^{-1} . Estos resultados contrastan con los reportados por Blumenthal *et al.* (2003) y Yasari *et al.* (2012), ya que indican que el rendimiento de grano se incrementa significativamente con el incremento de la densidad de población. De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) de igual manera reportó aumento en el rendimiento de grano, sin embargo en las variables agronómicas evaluadas: altura de planta, altura de mazorca y días a floración, no hubo respuesta a las densidades de población, esto es, no se presentaron diferencias significativas, coincidiendo con Khan *et al.* (2003).

Por su parte, Cano *et al.* (2001) trabajaron con genotipos de maíz bajo diferentes densidades de población en condiciones de temporal, mencionan que los resultados obtenidos no presentaron diferencias significativas para rendimiento, aunque obtuvieron más rendimiento (6.39 t ha^{-1}) con 62,500 plantas ha^{-1} , mientras que el menor rendimiento (5.14 t ha^{-1}) lo presentó la densidad mayor (125,000 plantas ha^{-1}).

De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) reportó resultados diferentes en un estudio sobre rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población (44,289, 53,200 y 66,500 plantas ha^{-1}). El rendimiento fue la única variable que registró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre densidades de población, el cual presentó el rendimiento máximo en la densidad de 66,500 plantas ha^{-1} con 4.2 t ha^{-1} . Para las variables altura de planta, altura de mazorca y días a floración no se presentaron diferencias significativas entre densidades de población.

Martínez *et al.* (2013) también reportaron incremento en el rendimiento, al aumentar la densidad de población.

Así mismo en este estudio, el incremento de 120 a 180 unidades de nitrógeno no afectó de manera significativa las variables evaluadas, únicamente la asincronía floral (Cuadro 4) que incrementó ligeramente al aumentar las

unidades de nitrógeno; Gutiérrez y Luna (2002) y Cano (2001) obtuvieron resultados similares en relación al nulo efecto del nitrógeno en variables agronómicas.

La falta de respuesta a la fertilización posiblemente se deba a que el nitrógeno aplicado difiere únicamente en 60 unidades, aunado a esto, la falta de un análisis de suelo para corroborar la condición del mismo, en relación a la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, se sabe que son suelos pobres, calcáreos y de poca profundidad, lo cual puede afectar la disponibilidad de los nutrientes.

En relación a la diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para la variable asincronía floral, esta se puede atribuir al incremento en unidades de nitrógeno y su efecto en el desarrollo vegetativo de las plantas, obteniendo mejores resultados al aplicar 120 unidades de nitrógeno.

Resultados reportados por Martínez *et al.* (2013), al evaluar una variedad de maíz mejorado, en el ejido El Mezquite, Galeana, N.L., con tres densidades de población (40, 50 y 60 mil plantas ha^{-1}) y tres niveles de fertilización (00-00-00, 60-60-60, 120-60-60 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio), mostraron diferencias significativas para rendimiento ($P \leq 0.01$) en las dosis de fertilización y densidades de población. Obtuvieron el mayor rendimiento (7.32 t ha^{-1}) con la dosis de fertilización 120-60-60 y con 60,000 plantas ha^{-1} . En otro trabajo, Mendoza *et al.* (2006) aplicaron tres dosis de fertilización nitrogenada (00, 100 y 200 kg ha^{-1}) en maíz, y determinaron que la máxima productividad de grano se alcanzó con la dosis de nitrógeno más alta.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables evaluadas.

F.V.	GL	APTA (cm)	AMAZ (cm)	FM (días)	FF (días)	ASI (días)	MP	MCOB	AR	AT	PRO	DES (%)	REN
Bloque	3	225.77	193.16	0.48	2.27	0.81*	0.92	17.77	0.47	0.11	0.0021	0.00	2.88*
Densidad	2	52.79	321.50	1.16	2.62	0.54	0.03	50.61	0.47	0.11	0.0001	0.00	0.52
Fertilización	1	280.16	28.16	1.04	4.16	1.04*	6.40	7.79	0.47	0.11	0.0009	0.00	0.10
Den*Fer	2	78.04	200.66	0.66	0.79	0.29	0.64	6.57	0.47	0.11	0.0047	0.00	0.21
Error	15	198.27	173.23	1.31	1.91	0.18	2.51	13.88	0.47	0.11	0.0032	0.00	0.61
C.V. (%)		7.32	13.32	1.25	1.49	54.49	52.61	91.99	89.89	489.89	5.34	0.00	7.82

**, * = significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente. FV = Fuentes de Variación; GL = Grados de libertad; APTA = Altura de planta; AMAZ = Altura de mazorca; FM = Floración masculina; FF = Floración femenina; ASI = Asincronía floral; MP = Mazorcas podridas; MCOB = Mala cobertura de mazorca; AR = Acame de raíz; AT = Acame de tallo; PRO = Prolificidad; DES = Desgrane; REN = Rendimiento; CV (%) = Coeficiente de variación.

Cuadro 4. Comparación de medias para variables evaluadas en campo para los diferentes tratamientos.

F.V.	APTA (cm)	AMAZ (cm)	FM (días)	FF (días)	ASI (días)	MP	MCOB	AR	AT	PRO	DES (%)	RED
DENSIDAD (plantas/ha).												
60 mil	193.62	106.00	91.12	91.62	0.50	3.08	6.90	0.00	0.00	1.06	0.81	9.75
70 mil	194.00	96.00	91.37	92.37	1.00	2.97	3.10	0.00	0.00	1.06	0.81	10.02
80 mil	189.37	94.25	91.87	92.75	0.87	2.98	2.14	0.42	0.21	1.05	0.81	10.26
Media	192.33	98.75	91.45	92.25	0.79	3.01	4.04	0.14	0.07	1.06	0.81	10.01
Tukey	18.28	17.09	1.49	1.79	0.56	2.05	4.83	0.89	0.44	0.07	0.00	1.01
FERTILIZACIÓN (N-P-K)												
120-60-60	195.75	99.83	91.25	91.83	0.58 b	2.49	3.48	0.00	0.14	1.05	0.81	9.94
180-60-60	188.91	97.66	91.66	92.66	1.00 a	3.53	4.62	0.28	0.00	1.06	0.81	10.07
Media	192.33	98.75	91.45	92.25	0.79	3.01	4.04	0.14	0.07	1.06	0.81	10.01
Tukey	12.21	11.45	0.99	1.20	0.37	1.38	3.24	0.60	0.30	0.04	0.00	0.68

F.V.= Fuente de variación; APTA = Altura de planta; AMAZ = Altura de mazorca; FM = Floración masculina; FF = Floración femenina; ASI = Asincronía floral; MP = Mazorcas podridas; MCOB = Mala cobertura de mazorca; AR = Acame de raíz; AT = Acame de tallo; PRO = Prolificidad; DES = Desgrane; REN = Rendimiento; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Cervantes *et al.* (2013) evaluaron tres densidades de población (60, 75 y 90 mil plantas por ha^{-1}) y tres niveles de fertilización nitrogenada (150, 250 y 350 kg ha^{-1}), en un material híbrido de maíz de cruza simple (CML 176 x CML 142) y reportaron que la densidad de población mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$), sobresaliendo la de 90 mil plantas ha^{-1} en altura de mazorca (177.2 cm), días a floración femenina (78 días) y rendimiento (7.7 t ha^{-1}), mientras que para la fertilización nitrogenada no se observó diferencias significativas.

Tomando en cuenta la literatura citada, se pudo constatar que los resultados dependen en gran medida de la respuesta de los genotipos en estudio, sin esperar una respuesta similar al usar materiales genéticos diferentes. Los resultados de este trabajo de investigación muestran que el rendimiento de la variedad amarilla se comporta de manera uniforme al aumentar las densidades de población y niveles de fertilización nitrogenada, lo cual podría deberse a que se trata de un material mejorado, adaptado a las condiciones climatológicas de la región sureste de Coahuila, y que no requiere de cantidades altas de insumos, permitiendo rendimientos superiores a los reportados por Martínez *et al.* (2013), para la variedad Jaguan de 7.32 t ha^{-1} . De igual manera se debe considerar las características edáficas del área, a fin de conocer sus propiedades físico químicas que puedan influir en la asimilación del nitrógeno y en la disponibilidad del mismo.

Estudio II. Caracterización de mazorca y semilla.

A partir de este estudio se incluye la fuente de variación ambiente, refiriéndose a los bloques de dónde provino la semilla en campo. Se sabe que el ambiente de producción afecta de manera significativa la calidad de la semilla (Ortíz *et al.*, 2007; Southworth *et al.*, 2000; Xiang *et al.*, 2011).

En el Cuadro 5 se reportan los cuadrados medios del análisis de varianza para la caracterización de las mazorcas y semillas. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las variables longitud de mazorca (LMAZ) y ($P \leq 0.01$) espesor de semilla (ES), para la fuente de variación ambiente. En las densidades de población se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para

LMAZ y longitud de semilla (LS) y en la fuente de variación fertilización únicamente se presentó diferencia para diámetro de olote (DOLO) y solo se presentaron interacciones para ambiente por fertilización en el número de semillas por hilera (SHIL), LMAZ (Figura A.1) y ES (Figura A.2), así como la interacción entre ambiente, densidad y fertilización para las variables diámetro de la mazorca y el DOLO (Figura A.3). Estos resultados son similares a los reportados por Espinosa *et al.* (2004), quienes encontraron diferencias significativas para la variable longitud de la mazorca, pero difieren en la variable granos por hilera, al evaluar rendimiento de grano y sus componentes, en poblaciones prolíficas de maíz.

En el Cuadro 6 se aprecia la comparación de medias para las variables por ambiente de producción, las únicas diferencias que se observan son para la LMAZ, ya que en el ambiente 4, alcanzó una longitud superior en 7.5 % sobre la de menor tamaño (ambiente uno); de igual manera para el caso del espesor de la semilla. En ocasiones las variaciones en las características pueden estar influenciadas por el efecto del ambiente o en su caso por la interacción con el genotipo, de acuerdo con Córdova (1991), la interacción genotipo-ambiente merece gran importancia en la evaluación de cultivos, ya que las diferencias entre ambientes pueden cambiar la magnitud de la respuesta relativa de los cultivos.

Para la fuente de variación densidad de población en la comparación de medias (Cuadro 7), las variables LMAZ y la LS mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$), reduciendo sus dimensiones a medida que se aumentó el número de plantas ha^{-1} , por lo tanto una densidad de población alta afecta el desarrollo de la mazorca y por consiguiente la longitud de la semilla.

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la caracterización de mazorcas y semillas.

F.V.	GL	HIL	SHIL	LMAZ (cm)	DMAZ (mm)	LS (mm)	AS (mm)	ES (mm)	DOLO (mm)
Ambiente	3	1.42	14.34	10.37*	49.64	0.31	0.29	1.13**	16.65
Densidad	2	3.07	25.45	7.89*	55.16	2.45*	0.55	0.02	6.14
Fertilización	1	0.17	69.34	13.80	2.54	0.25	0.41	0.04	35.53**
Amb*Den	6	2.74	16.12	2.86	14.89	0.46	0.69	0.22	2.00
Amb*Fer	2	1.24	91.24**	16.53**	33.88	0.30	1.11	0.38*	3.17
Den*Fer	2	0.57	8.41	4.86	37.37	0.11	0.34	0.16	1.02
Amb*Den*Fer	4	1.84	4.31	1.08	59.90*	0.56	0.70	0.06	12.19*
Error	96	2.70	14.68	2.75	22.51	0.52	0.54	0.11	4.75
C.V. (%)		11.71	12.35	10.28	10.29	6.20	8.33	7.60	7.53

** , * = significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente. FV = Fuentes de Variación; GL = Grados de libertad; HIL = Hileras; SHIL = Semillas por hilera; LMAZ =Longitud de mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LS = Longitud de semilla; AS = Ancho de semilla; ES = Espesor de semilla; DOLO = Diámetro de olote; CV (%) = Coeficiente de variación.

Cuadro 6. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con la caracterización de mazorcas y semilla.

AMBIENTE	HIL	SHIL	LMAZ (cm)	DMAZ (mm)	LS (mm)	AS (mm)	ES (mm)	DOLO (mm)
1	13.86	30.76	15.73 b	44.34	11.53	8.78	4.34 b	28.29
2	13.86	30.70	15.84 ab	46.14	11.68	8.80	4.41 b	28.56
3	14.26	31.16	16.45 ab	47.34	11.77	8.81	4.68 a	29.56
4	14.26	31.86	17.02 a	46.84	11.64	9.00	4.81 a	29.62
Media	14.03	31.01	16.15	46.07	11.66	8.82	4.52	28.92
Tukey	1.24	2.89	1.25	3.59	0.54	0.55	0.26	1.64

HIL = Hileras; SHIL = Semillas por hilera; LMAZ =Longitud de mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LS = Longitud de semilla; AS = Ancho de semilla; ES = Espesor de semilla; DOLO = Diámetro de olote; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Para el caso de las dosis de fertilización en la comparación de medias (Cuadro 7), el DOLO resultó ser significativo, a medida que aumenta las unidades de nitrógeno, se presentan olores más gruesos y puede estar relacionado con la mayor acumulación de materia seca, ya que no se afectó las dimensiones de la semilla.

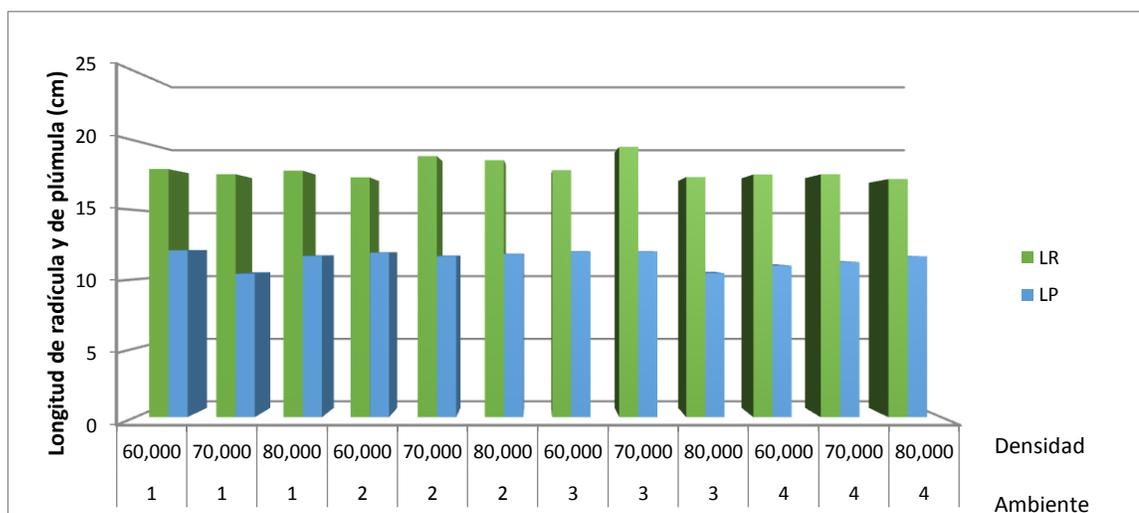
Estudio III. Calidad fisiológica.

El Cuadro 8 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza del ensayo de germinación de la semilla obtenida en campo. Entre bloques, la variable de porcentaje de germinación no fue diferente estadísticamente, pero sí el vigor (VIG), PS, LR y longitud de plúmula (LP), de esta manera se justifica el empleo de este diseño y su eficiencia para determinar la variación existente dentro de la cámara de germinación.

Para la fuente de variación ambiente, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en peso seco (PS), así como diferencias ($P \leq 0.01$) en longitud de radícula (LR). Así mismo se presentó diferencia estadística para el factor densidad de población en las variables LR y LP ($P \leq 0.01$); ambas variables también mostraron variación para dosis de fertilización, además del vigor ($P \leq 0.05$).

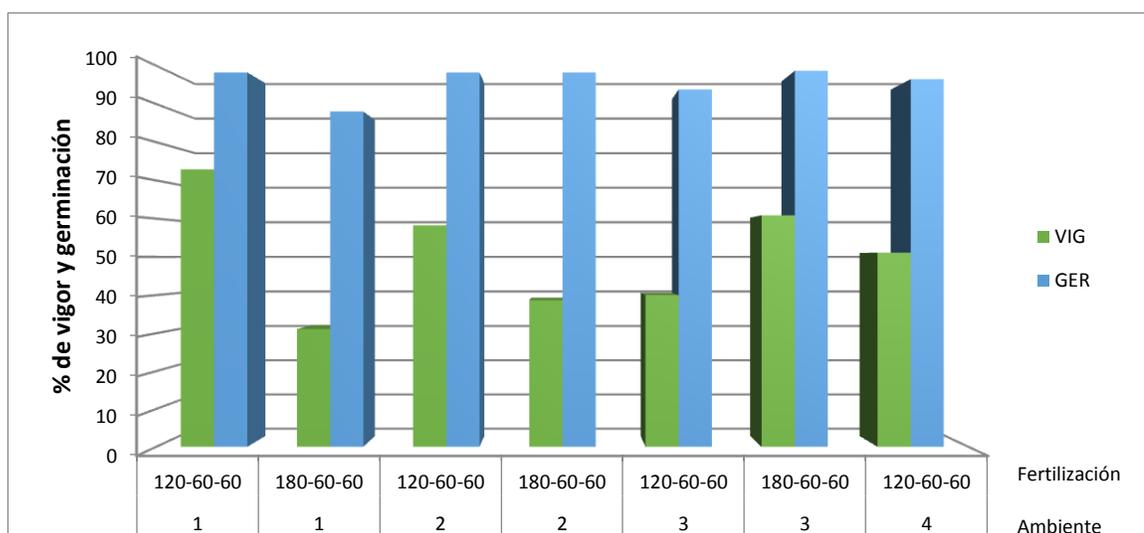
Las interacciones densidad de población por ambiente tuvo efecto en las variables LR como se aprecia en la Figura 1 con los valores más altos con 19.5 cm para 70 mil plantas ha^{-1} en el ambiente 3 y LP de 12.09 cm para 60 mil plantas ha^{-1} en el ambiente uno. La dosis de fertilización por ambiente tuvo efecto en el porcentaje de vigor, el mejor valor fue de 72 % para 120 unidades de nitrógeno en el ambiente uno y germinación con 98 % para 180 unidades de nitrógeno para el ambiente 3 como se observa en la figura 2, para el caso de las variables peso seco (Figura A.4), LR y LP (Figura A.5), de igual manera se aprecian diferencias estadísticas. Para la interacción fertilización por densidad solo se presentó diferencias para las variables LR y LP (Figura A.6), de igual forma para las interacciones de las fuentes de variación dosis de fertilización por densidades de población por el ambiente para las variables antes mencionadas (Figura A.7).

Figura 1. Promedios para longitud de radícula (LR) y longitud de plúmula (LP) en el ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción densidad por ambiente.



Densidad (plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura 2. Promedios para vigor (VIG) y germinación (GER) del ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción fertilización por ambiente.



Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Cuadro 7. Comparación de medias para variables asociadas con la caracterización de mazorcas y semilla para los diferentes tratamientos.

F.V.	HIL	SHIL	LMAZ (cm)	DMAZ (mm)	LS (mm)	AS (mm)	ES (mm)	DOLO (mm)
DENSIDAD (plantas/ha).								
60 mil	14.17	31.80	16.63 a	46.78	11.83 a	8.92	4.53	29.31
70 mil	14.22	31.20	16.19 ab	46.74	11.77 ab	8.68	4.56	28.42
80 mil	13.71	30.05	15.64 b	44.69	11.36 b	8.87	4.46	29.03
Media	14.03	31.01	16.15	46.07	11.66	8.82	4.52	28.92
Tukey	0.93	2.18	0.94	2.70	0.41	0.41	0.19	1.24
FERTILIZACIÓN (N-P-K)								
120-60-60	14.03	30.46	15.97	46.04	11.61	8.80	4.54	28.54 b
180-60-60	14.04	31.75	16.40	46.11	11.71	8.86	4.50	29.43 a
Media	14.03	31.01	16.15	46.07	11.66	8.82	4.52	28.92
Tukey	0.64	1.50	0.65	1.86	0.28	0.28	0.13	0.85

F.V.= Fuente de variación; HIL = Hileras; SHIL = Semillas por hilera; LMAZ =Longitud de mazorca; DMAZ = Diámetro de mazorca; LS = Longitud de semilla; AS = Ancho de semilla; ES = Espesor de semilla; DOLO = Diámetro de olote; Valores con la mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en calidad fisiológica.

FV	GL	VIG (%)	GER (%)	PS (mg/plántula)	GL	LR (cm)	LP (cm)
Bloque	2	2054.34*	32.25	374.90*	2	121.67**	139.13**
Ambiente	3	117.13	79.80	406.08*	3	110.40**	60.21
Densidad	2	291.85	6.14	237.70	2	65.10**	66.36**
Fertilización	1	2453.62*	42.66	61.14	1	484.55**	541.97**
Amb*Den	6	996.69	12.09	46.85	6	77.74**	73.73**
Amb*Fer	2	4542.51**	267.55**	462.91*	2	311.51**	203.20**
Den*Fer	2	1266.96	18.66	193.89	2	66.10**	273.95**
Amb*Den*Fer	4	570.51	30.22	136.71	4	28.03**	43.35**
Error	40	533.01	28.25	101.47	1488	7.73	7.18
C.V. (%)		45.79	5.54	13.98		15.42	23.24

**, * = significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente. FV = Fuentes de Variación; GL = Grados de libertad; VIG = Vigor; GER = Germinación; PS = Peso seco de plántula; LR = Longitud de radícula; LP = Longitud de plúmula; CV (%) = Coeficiente de variación.

Cuadro 9. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con la calidad fisiológica.

AMBIENTE	VIG (%)	GER (%)	PS (mg/plántula)	LR (cm)	LP (cm)
1	52.00	93.11	64.98 b	17.79 ab	11.39
2	48.44	98.22	73.66 ab	18.28 a	11.80
3	50.44	96.22	74.79 ab	18.27 a	11.50
4	51.11	96.44	77.39 a	17.46 b	11.30
Media	50.41	95.93	72.04	18.02	11.53
Tukey	23.06	5.30	10.06	0.54	0.52

VIG = Vigor; GER = Germinación; PS = Peso seco de plántula; LR = Longitud de radícula; LP = Longitud de plúmula; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Como se mencionó anteriormente, dentro de cada ambiente existen variaciones en las condiciones que contribuyen al desarrollo de las plantas, en este caso se ve reflejado en las características fisiológicas de las semillas. Resultados similares reportó Ruiz *et al.* (2012), al evaluar poblaciones de maíz criollo mejorado, no así para el porcentaje de germinación quienes encontraron diferencias entre poblaciones. La población precoz presentó 92.40 %, superando estadísticamente a la población Jagüey, la cual obtuvo 89.22 %.

La comparación de medias para ambientes (Cuadro 9), demostró una vez más el efecto del área de producción de semillas en la acumulación de materia seca, reflejándose en el peso seco por plántula, que aumenta de un ambiente a otro; además la longitud de la radícula en las plántulas normales, varió a través de ambientes. En este sentido Ortiz *et al.* (2007), indican que el ambiente de producción de la semilla tiene efecto en la calidad de la misma.

En la comparación de medias para densidad de población (Cuadro 10) no existe diferencias para vigor y germinación, pero si se aprecia que para la densidad de población de 70 mil plantas por ha^{-1} , la plántula presentó una longitud de radícula superior en relación a las otras dos densidades, no así para longitud de plúmula donde fue superior en 4 % para 60 mil plantas por ha^{-1} . En resumen la densidad de población no influyó en el vigor y en la germinación de la semilla, sin embargo se apreció efecto en estructuras como la radícula y la plúmula. Raya *et al.* (2012) en un estudio sobre calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz, reportaron efectos no significativos para densidad de población en las variables vigor y germinación, lo cual coincide con lo obtenido en este estudio.

En la comparación de medias para dosis de fertilización (Cuadro 10), el tratamiento con menos unidades de nitrógeno, resultó mejor para vigor con un 55.55 %, de igual forma para las variables LR y LP. En este estudio el uso de menores cantidades de nitrógeno contribuyó a obtener semillas con mayor vigor y dimensiones de la plántula, no así, en relación a la germinación ya que se presentó superior al 90 % para ambos niveles de fertilización, sin diferencia significativa.

Las pruebas de germinación y vigor son herramientas confiables para conocer la calidad fisiológica de la semilla, como lo menciona Moreno (1996) al hacer referencia a que la prueba de germinación permite establecer comparaciones del poder germinativo entre diferentes lotes de semillas de la misma especie.

Estudio IV. Índice de flotación.

De acuerdo al índice flotación (Cuadro 11) se presentaron diferencias ($P \leq 0.01$) para ambiente y dosis de fertilización, en la fuente de variación densidad de población no se presentó diferencias para índice de flotación, pero si en las interacciones ambiente por dosis de fertilización como se muestra en la Figura 3, para la dosis de fertilización por densidad de población (Figura 4) el número de granos que flotan aumentan a manera que disminuye la dosis de nitrógeno con un valor medio de densidad de plantas. El promedio de granos flotantes también se presentó de forma variable al interactuar las tres fuentes de variación (Figura A.8), pero sin modificar la condición de dureza del endospermo del grano.

La dureza del grano está en función del tamaño y acomodo de los gránulos del almidón en el endospermo, los gránulos del almidón están embebidos en una matriz proteica que sirve como un material de soporte entre gránulos y provee de rigidez a la estructura (Tester *et al.*, 2004). La matriz proteica en el endospermo duro es más gruesa que en el endospermo suave, razón por la cual es más difícil romper dicha matriz en el endospermo duro (Wang y Eckhoff, 2000).

Cuadro 10. Comparación de medias para variables asociadas con la calidad fisiológica para los diferentes tratamientos.

F.V.	VIG (%)	GER (%)	PS (mg/plántula)	LR (cm)	LP (cm)
DENSIDAD (plantas/ha)					
60 mil	51.81	95.23	74.33	17.70 b	11.86 a
70 mil	47.42	96.19	73.23	18.53 a	11.36 b
80 mil	52.00	96.38	68.55	17.84 b	11.37 b
Media	50.41	95.23	72.04	18.02	11.53
Tukey	17.34	3.99	7.56	0.41	0.39
FERTILIZACIÓN (N-P-K)					
120-60-60	55.55 a	96.66	73.50	18.40 a	11.98 a
180-60-60	43.55 b	94.96	70.08	17.51 b	10.92 b
Media	50.41	95.93	72.04	18.02	11.53
Tukey	11.87	2.75	5.18	0.28	0.27

F.V.= Fuente de variación; VIG = Vigor; GER = Germinación; PS = Peso seco de plántula; LR = Longitud de radícula; LP = Longitud de plúmula; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas.

F.V.	GL	IF (%)
Ambiente	3	23.18**
Densidad	2	0.20
Fertilización	1	69.44**
Amb*Den	6	5.87
Amb*Fer	2	17.44**
Den*Fer	2	11.02*
Amb*Den*Fer	4	7.27*
Error	21	4.59
C.V. (%)		69.90

F.V.= Fuente de variación; **, * = significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; FV = Fuentes de Variación; GL = Grados de libertad; IF: Índice de flotación; CV (%) = Coeficiente de variación.

En las comparaciones de medias para ambientes (Cuadro 12), se aprecia diferencias estadísticas en relación al porcentaje de granos flotantes, pero esto no influyó en las características de dureza del grano, es decir, de acuerdo con la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (DOF, 2002), los granos de los diferentes ambientes se clasifican como muy duros con un tiempo de cocción de 45 minutos. Es importante señalar que el ambiente es un factor que afecta la distribución del tamaño del gránulo de almidón en el endospermo del grano (Raeker *et al.*, 1998; Stoddard, 1999).

Cuadro 12. Comparación de medias para ambiente para el índice de dureza.

AMBIENTE	IF (%)	TIPO DE ENDOSPERMO	TIEMPO DE COCCIÓN (min)
1	3.50 a	Muy duro	45
2	2.83 ab	Muy duro	45
3	0.83 b	Muy duro	45
4	1.50 ab	Muy duro	45
Media	2.26		
Tukey	2.01		

IF: Índice de flotación; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Entre densidades de población (Cuadro 13), no se aprecia diferencia estadística en el porcentaje de granos flotantes para la prueba de índice de flotación, por lo que, la dureza del grano sigue siendo de condición muy dura. Estos resultados son similares a los reportados por Ochoa *et al.* (2009), quienes evaluaron 10 variedades de maíz, y encontraron que entre variedades no hubo diferencias significativas en cuanto a dureza de los granos, además de que todas las variedades presentaron maíz de endospermo duro.

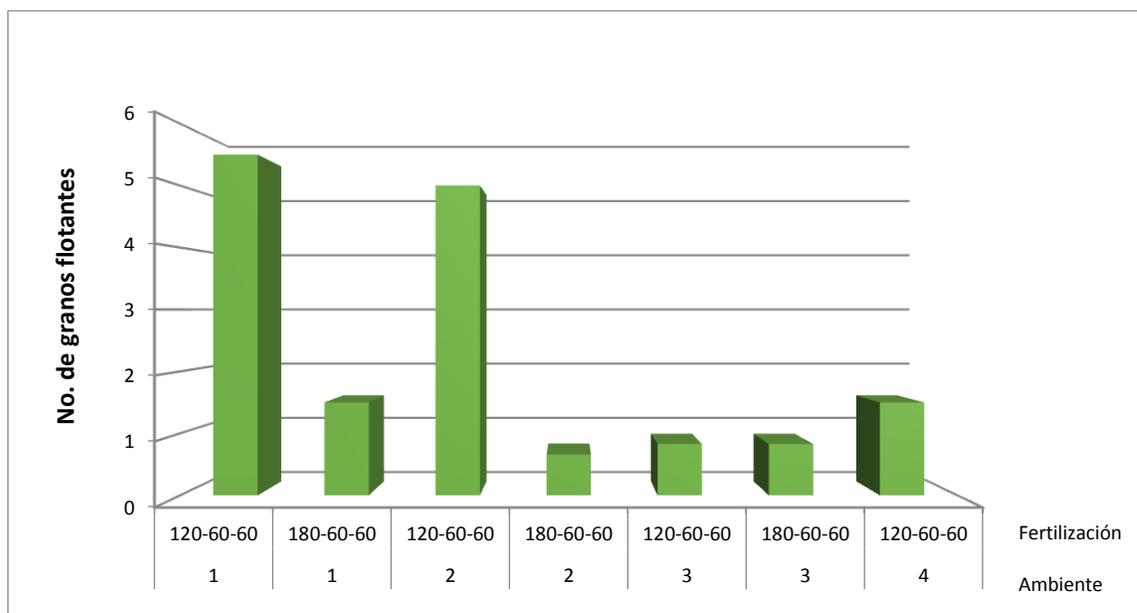
En los granos de maíz, el endospermo representa entre 83-85 % del peso total del grano y la dureza del grano depende de la proporción y acomodo de esta estructura. La dureza o suavidad está relacionada con las áreas cristalina y harinosa en el endospermo, a mayor porcentaje de endospermo cristalino se tendrán granos más duros, poco endospermo cristalino corresponde a granos más suaves. Las dosis de fertilización influyó de manera mínima en el porcentaje de granos que flotaron (Cuadro 13) para 120 unidades de nitrógeno hubo un 2 % de granos más que flotaron en comparación a 180 unidades, pero en ambos casos el grano es clasificado como muy duro.

Cuadro 13. Comparación de medias para las variables asociadas con el índice de dureza para los diferentes tratamientos.

F.V.	IF (%)	TIPO DE ENDOSPERMO	TIEMPO DE COCCIÓN (min)
DENSIDAD (plantas/ha).			
60 mil	2.28	Muy duro	45
70 mil	2.35	Muy duro	45
80 mil	2.14	Muy duro	45
Media	2.26		
Tukey	1.50		
FERTILIZACIÓN (N-P-K)			
120-60-60	3.20 a	Muy duro	45
180-60-60	1.00 b	Muy duro	45
Media	2.26		
Tukey	1.02		

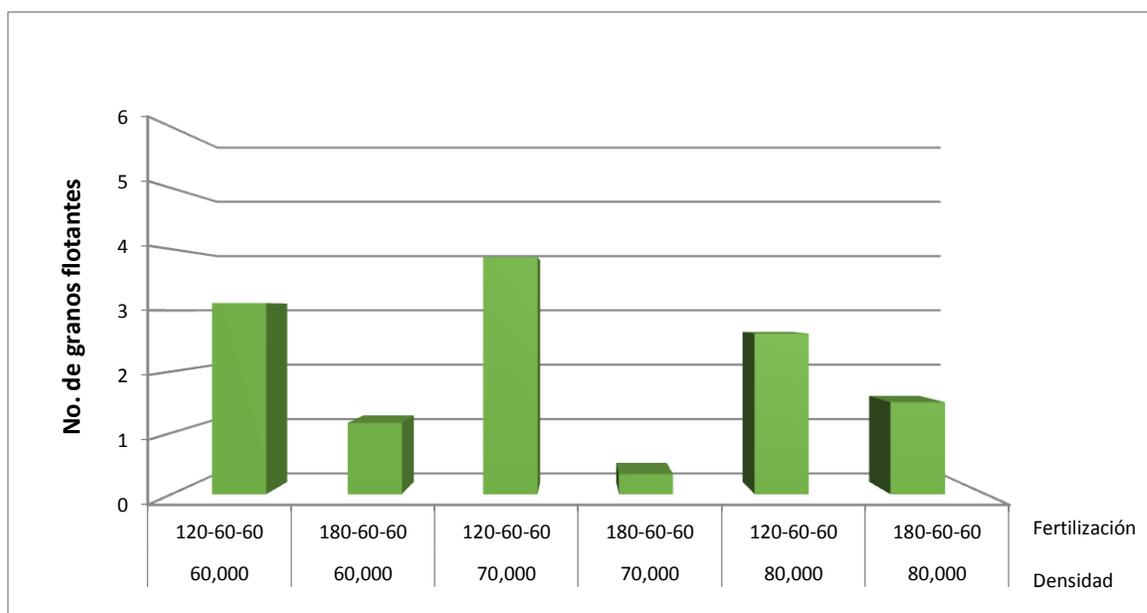
F.V. = Fuente de variación; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %). IF: Índice de flotación.

Figura 3. Promedios de granos flotantes para dureza de grano en la interacción fertilización por ambiente.



Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura 4. Promedios de granos flotantes para dureza de grano en la interacción fertilización por densidad.



Fertilización (N-P-K); Densidad (plantas ha⁻¹).

Estudio V. Análisis bromatológico.

Los resultados obtenidos de los parámetros estudiados dentro del análisis bromatológico para la variedad de maíz amarillo se muestran en el Cuadro 14, y se aprecia diferencias estadísticas para todas las variables a excepción de materia seca total para la fuente de variación ambiente, con respecto a la densidad de población únicamente se presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de nitrógeno y de carbohidratos. La fertilización como era esperarse, influyó sobre el contenido de nitrógeno y además en el contenido de fibra, cabe destacar que se presentaron interacciones para las diferentes fuentes de variación en densidades de población por ambiente para las variables de nitrógeno, proteína cruda y fibra (Figura A.9), en el caso de la interacción dosis de fertilización por ambiente de la misma forma el nitrógeno y la proteína cruda, además del extracto etéreo fueron afectados como se aprecia en la figura 5, el porcentaje de carbohidratos de cierta forma, la misma interacción generó una diferencia en el contenido de estos (figura A.10), para las variables materia seca total y contenido de fibra en dosis de fertilización por densidad de población se puede apreciar en las Figuras A.11 y Figura A.12 respectivamente, además las variables porcentaje de fibra (Figura A.13), y porcentaje de carbohidrato (Figura A.14), se ve afectado diferenciándose cuando interactúan las tres fuentes de variación.

Como se mencionó anteriormente, el ambiente influyó en la expresión de la totalidad de las variables a excepción del contenido de materia seca (Cuadro 15). Zepeda *et al.* (2009) comentan que las condiciones agroclimáticas modifican los componentes estructurales del grano.

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas.

F.V.	GL	MST (%)	CEN (%)	MO (%)	NIT (%)	PC (%)	EE (%)	FIB (%)	CARB (%)
Ambiente	3	0.1963	0.0338*	0.0338*	0.0411**	2.3897**	2.2562**	0.0923**	10.2350**
Densidad	2	0.0689	0.0100	0.0100	0.0135*	0.7548	0.2331	0.0168	1.9839*
Fertilización	1	0.0513	0.0081	0.0081	0.0324*	1.8677	1.2063	0.0000*	5.6882
Amb*Den	6	0.3582	0.0268	0.0268	0.0241**	1.2689**	0.4214	0.0549**	1.3796
Amb*Fer	2	0.1573	0.0060	0.0060	0.0183*	1.0684*	1.0263*	0.0318	4.3872**
Den*Fer	2	1.3813*	0.0099	0.0099	0.0007	0.0108	0.6979	0.0693*	1.0341
Amb*Den*Fer	4	0.3205	0.0329	0.0329	0.0065	0.3695	0.4494	0.0827**	1.9929*
Error	21	0.2878	0.0124	0.0124	0.0046	0.2601	0.2165	0.0133	0.6224
C.V. (%)		0.6416	7.6471	0.1132	4.8635	4.8879	8.0851	5.2924	0.9841

F.V.= Fuente de variación; **, * = significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; FV = Fuentes de Variación; GL = Grados de libertad; Materia seca total; CEN = Cenizas; MO = Materia orgánica; NIT = Nitrógeno; PC = Proteína cruda; EE = Extracto etéreo; FIB = Fibra; CARB= Carbohidratos; CV (%) = Coeficiente de variación.

Cuadro 15. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con el análisis bromatológico.

AMBIENTE	MST (%)	CEN (%)	MO (%)	NIT (%)	PC (%)	LIP (%)	FIB (%)	CARB (%)
1	83.71	1.46 ab	98.53 ab	1.31 b	9.85 b	5.48 b	2.11 b	81.07 a
2	83.69	1.39 b	98.60 a	1.41 a	10.54 a	5.60 b	2.11 b	80.34 ab
3	83.53	1.45 ab	98.54 ab	1.43 a	10.71 a	5.74 b	2.24 ab	79.84 b
4	83.39	1.57 a	98.42 b	1.44 a	10.83 a	6.61 a	2.33 a	78.63 c
Media	83.61	1.45	98.54	1.39	10.43	5.75	2.18	80.16
Tukey ($\alpha=0.05$)	0.68	0.14	0.14	0.08	0.64	0.59	0.14	1.00

MST = Materia seca total; CEN = Cenizas; MO = Materia orgánica; NIT = Nitrógeno; PC = Proteína cruda; EE = Extracto etéreo; FIB = Fibra; CARB= Carbohidratos; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Sierra *et al.* (2010) indican que el valor nutritivo de los componentes del endospermo y del embrión del grano de maíz puede variar según el tipo y la variedad, por efecto del ambiente y del manejo agronómico.

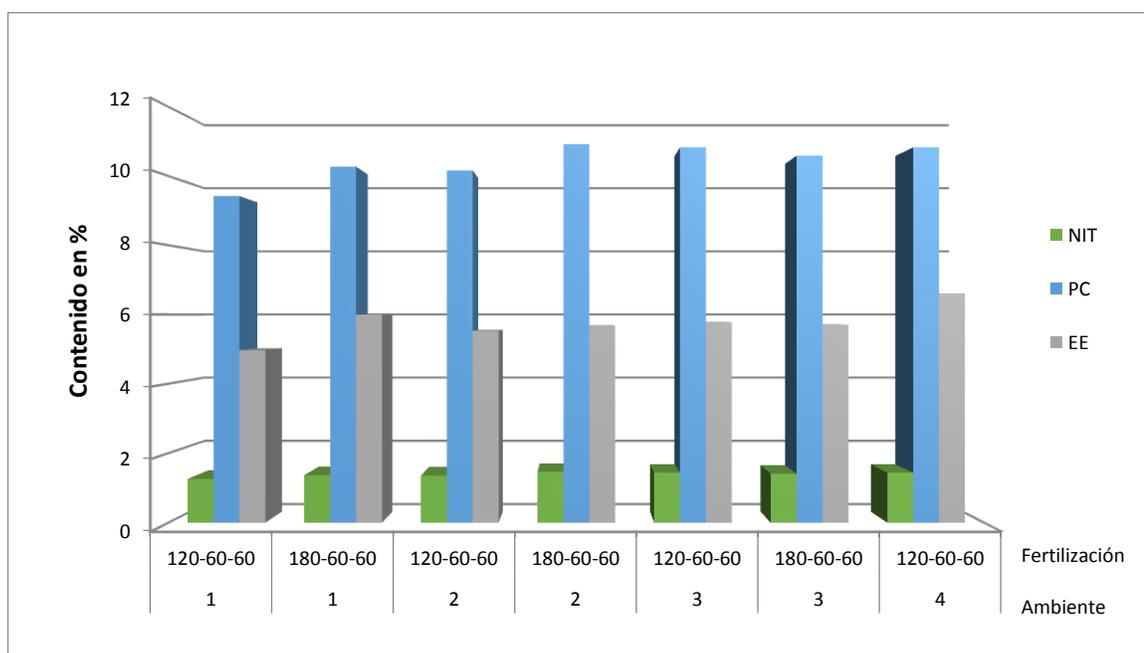
Por otra parte, la densidad de población generó un efecto sobre el contenido de nitrógeno y en el contenido de carbohidratos (Cuadro 16), al reducir el número de plantas por ha⁻¹ se ve favorecido la proporción de nitrógeno en relación a las otras densidades, disminuyendo el contenido de carbohidratos. Aunque el contenido de nitrógeno es fundamental para determinar el contenido de proteína, esta no se vio afectada con respecto a las densidades de población. Estos resultados difieren a los reportados por Mendoza *et al.* (2007), en un estudio sobre el efecto del nitrógeno y la densidad de población en el contenido de lisina en la semilla de maíz, quienes encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína para diferentes materiales genéticos, reportando un máximo de 11.08 % de proteína total.

El incremento en nitrógeno en los tratamientos de fertilización también fue motivo de variación en el contenido del mismo y de la fibra (Cuadro 16), la cantidad de nitrógeno que se mueve de los tejidos vegetativos a la mazorca durante el proceso de llenado del grano varía considerablemente, habiéndose informado de un rango de 20 a 60 % del nitrógeno total del grano derivado de la absorción antes de la antesis (Paliwal *et al.*, 2001). El nitrógeno depositado en el tallo es el que se moviliza primero hacia la mazorca y la cantidad de nitrógeno movilizado depende del cultivar y de la cantidad y del momento de la aplicación del nitrógeno. Por lo tanto, a mayor cantidad de nitrógeno disponible, mayor acumulación se presentará en el grano, pero sin influir en el contenido de proteína como fue el caso.

El porcentaje de fibra es diferente y menor al reportado por Ortíz *et al.* (2007), quien obtuvo para los maíces analizados 15.19 %, contra un 2.2 % obtenido en este trabajo, sin duda alguna esta condición podría atribuirse a las características del material genético en estudio.

Para el porcentaje de nitrógeno, como se mencionó anteriormente, se presentaron diferencias estadísticas significativas pero no así, para el contenido de proteína, la manera de comprender este comportamiento puede deberse a que el método de digestión y destilación de Kjeldah, determina entidades químicas no puras, y además se obtienen otros compuestos nitrogenados que no son estrictamente proteínas.

Figura 5. Promedios de nitrógeno (NIT), proteína (PC) y extracto etéreo (EE) para el análisis bromatológico en la interacción fertilización por ambiente.



Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Cuadro 16. Comparación de medias para variables asociadas con el análisis bromatológico para los diferentes tratamientos.

F.V.	MST (%)	CEN (%)	MO (%)	NIT (%)	PC (%)	EE (%)	FIB (%)	CARB (%)
DENSIDAD (plantas/ha).								
60 mil	83.61	1.45	98.54	1.43 a	10.75	5.81	2.20	79.77 b
70 mil	83.47	1.49	98.50	1.37 b	10.27	5.85	2.21	80.15 ab
80 mil	83.74	1.42	98.57	1.37 b	10.27	5.59	2.12	80.57 a
Media	83.61	1.45	98.54	1.39	10.43	5.75	2.18	80.16
Tukey	0.51	0.10	0.10	0.06	0.48	0.44	0.11	0.75
FERTILIZACIÓN (N-P-K)								
120-60-60	83.61	1.48	98.51	1.37 b	10.31	5.72	2.20 a	80.27
180-60-60	83.60	1.42	98.57	1.41 a	10.59	5.79	2.15 b	80.02
Media	83.61	1.45	98.54	1.39	10.43	5.75	2.18	80.16
Tukey	0.34	0.07	0.07	0.04	0.33	0.30	0.07	0.51

F.V. = Fuente de variación; MST = Materia seca total; CEN = Cenizas; MO = Materia orgánica; NIT = Nitrógeno; PC = Proteína cruda; EE = Extracto etéreo; FIB = Fibra; CARB = Carbohidratos; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05 %).

Estudio VI. Índice de velocidad de emergencia.

El Cuadro 17 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza para el estudio de índice de velocidad de emergencia y emergencia total en invernadero, además del peso seco y la longitud de radícula y de plúmula, donde se reportan diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en la variable LR para la fuente de variación ambiente.

Por otra parte, para corroborar la eficiencia del método usado y la variación en los factores ambientales del invernadero donde se estableció el experimento, se consideró los bloques como una fuente de variación y se aprecia diferencias estadísticas para cada una de las variables, a excepción del IVE. Para la densidad de población y las dosis de fertilización se presentaron variables con diferencias estadísticas, como el peso seco de plántula y la LR. Los resultados indican que en la variedad experimental de maíz amarillo, el IVE no es afectado por los factores en estudio. Por el contrario, la densidad de población si modifica la emergencia total de las plántulas derivadas de las semillas producidas en campo bajo los esquemas antes mencionados, los resultados difieren a los reportados para IVE por Martínez *et al.* (2010), al evaluar el índice de velocidad de emergencia en doce líneas de maíz, encontrando diferencias estadísticas entre ellos con 7.6 para los mejores materiales contra 5.7 de IVE.

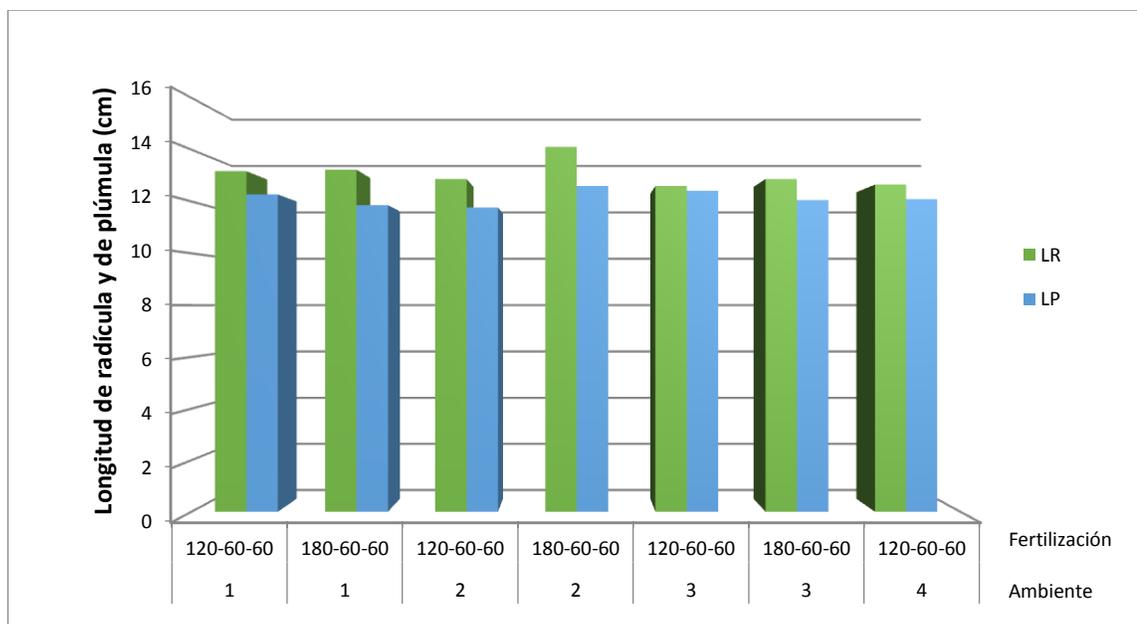
Las interacciones tuvieron efecto el IVE para densidad de población por ambiente (Figura A.15), en una interacción más entre la dosis de fertilización y ambiente, la LR y LP (Figura 6) se aprecian las longitudes mínimas y máximas registradas, para ambas variables los valores más altos se presentaron con 180 unidades de nitrógeno para el ambiente dos.

Para densidad de población por dosis de fertilización únicamente la LP presentó diferencias estadísticas (Figura A.16), y para las variables IVE (Figura A.17), LR y LP (Figura a.18) para la interacción de las tres fuentes de variación.

Las pruebas de velocidad de emergencia y emergencia total se utilizan como estimadoras de vigor de las plántulas, atributo de importancia para agricultores porque de ello dependerá el número de plantas en un área determinada (Delouche y Cadwell, 1962).

Las semillas provenientes de campo de los diferentes ambientes únicamente tuvieron efecto sobre la longitud de radícula para la prueba de IVE (Cuadro 18).

Figura 6. Promedios de longitud de radícula (LR) y plúmula (LP) para el índice de velocidad de emergencia en la interacción fertilización por ambiente.



Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Cuadro 17. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el estudio de velocidad de emergencia en invernadero.

FV	GL	IVE	ET	PS (mg/plántula)	GL	LR (cm)	LP (cm)
Bloque	2	0.036	12.444*	8434.361**	2	2277.773**	160.716**
Ambiente	3	0.013	0.197	489.321	3	44.441*	2.316
Densidad	2	0.013	9.929*	1799.299**	2	67.528**	0.993
Fertilización	1	0.060	4.740	2406.197**	1	90.457**	0.143
Amb*Den	6	0.208**	19.851	450.908	6	18.114	2.507
Amb*Fer	2	0.007	4.148	347.490	2	43.110*	56.147**
Den*Fer	2	0.004	4.148	22.266	2	1.294	10.403*
Amb*Den*Fer	4	0.131**	29.629	246.626	4	81.059**	12.550**
Error	40	0.029	3.111	216.846	1542	12.391	2.420
C.V. (%)		3.188	1.775	12.050		27.920	12.796

** , * = significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; FV = Fuentes de Variación; GL = Grados de libertad; IVE = Índice de velocidad de emergencia; ET = Emergencia total; PS = Peso seco; LR = Longitud de radícula; LP = Longitud de plúmula; CV (%) = Coeficiente de variación.

Cuadro 18. Comparación de medias por ambiente para variables asociadas con el índice de velocidad de emergencia.

AMBIENTE	IVE	ET	PS (mg/plántula)	LR (cm)	LP (cm)
1	5.33	99.55	117.91	13.20 ab	12.07
2	5.38	99.33	123.79	13.49 a	12.19
3	5.34	99.33	122.17	12.74 b	12.23
4	5.37	99.11	127.59	12.65 b	12.09
Media	5.35	99.36	122.19	13.07	12.15
Tukey ($\alpha= 0.05$)	0.17	1.76	14.71	0.67	0.29

IVE = Índice de velocidad de emergencia; ET = Emergencia total; PS = Peso seco; LR = Longitud de radícula; LP = Longitud de plúmula; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey 0.05 %).

Cuadro 19. Comparación de medias para variables asociadas con el índice de velocidad de emergencia.

F.V.	IVE	ET (%)	PS (mg/plántula)	LR (cm)	LP (cm)
DENSIDAD (plantas/ha).					
60 mil	5.35	99.42 ab	127.11 a	13.43 a	12.12
70 mil	5.38	100.00 a	127.50 a	13.14 ab	12.20
80 mil	5.33	98.66 b	111.97 b	12.65 b	12.14
Media	5.35	99.36	122.19	13.07	12.15
Tukey	0.12	1.32	11.06	0.51	0.26
FERTILIZACIÓN (N-P-K)					
120-60-60	5.33	99.11	117.86 b	12.82 b	12.14
180-60-60	5.38	99.70	127.97 a	13.40 a	12.17
Media	5.35	99.36	122.10	13.06	12.15
Tukey	0.08	0.90	7.57	0.35	0.15

F.V. = Fuente de variación; IVE = Índice de velocidad de emergencia; ET = Emergencia total; PS = Peso seco; LR = Longitud de radícula; LP = Longitud de plúmula; Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey 0.05 %).

En el Cuadro 19 se muestra la comparación de medias del estudio en invernadero. Se presentó emergencia total de 100 % en plántulas de semillas provenientes de 70 mil plantas por ha^{-1} y fue estadísticamente diferente para 80 mil plantas ha^{-1} con 98.6 %. Para el peso seco de las plántulas se obtuvo un valor de 127 mg plántula^{-1} para las dos densidades inferiores, siendo superior estadísticamente al valor obtenido para plántulas provenientes de 80 mil plantas ha^{-1} , de igual manera fue el comportamiento para longitud de radícula.

La fertilización nitrogenada de acuerdo con la comparación de medias (Cuadro 19) solo generó un efecto en el peso seco de plántula y longitud de radícula, para esta condición el tratamiento de 180 unidades de nitrógeno mejoró estas características en las plántulas de semillas provenientes de los respectivos tratamientos de campo. Otros investigadores han reportado que la densidad de población y las dosis de fertilización no afectaron de manera significativa la prueba de germinación (Martínez *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

Las densidades de población y dosis de fertilización nitrogenada, no presentan efecto en el rendimiento de semilla en campo, únicamente modifican algunas características agronómicas de las plantas.

En cuanto a la calidad fisiológica, no se vio afectado el vigor y la germinación en relación a los diferentes tratamientos evaluados, aunque no se presentara efectos en la semilla, los porcentajes de vigor y de germinación son superiores a la media reportada en otras investigaciones.

Las densidades de población y niveles de fertilización son factores que no afectaron la dureza del endospermo del grano, sin embargo al conocer la características del mismo, se podría definir con más claridad el uso que se le puede dar a este tipo de materiales en la industria, para la composición química, la fertilización nitrogenada modificó los contenidos de nitrógeno en el grano, pero no así el de las proteínas.

La calidad bromatológica del grano de maíz amarillo no se ve modificada al usar menor o mayor dosis de fertilización o densidad de población para las variables evaluadas, a excepción del nitrógeno donde el porcentaje es superior al disminuir el número de plantas por hectárea con la mayor dosis de fertilización nitrogenada.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrio, E., E. 2011. Análisis genético de caracteres agronómicos y de calidad de semilla en poblaciones de maíces criollos en México. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 102 p.
- Arvizu F., J. L. 2011. Biocombustibles derivados del maíz. *In* C. de León y R. Rodríguez M. editores. El cultivo del maíz, temas selectos. Mundi-Prensa. pp. 30-37.
- Association of Oficial Analytical Chemists (A. O. A. C.). 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Library of congress. Arlington, Virginia, United States of America. 771 p.
- Burge, R. M. y W. J. Duensing, 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World* 34: 535-538.
- Blumenthal, J., D. Lyon and W. Stroup. 2003. Optimal plant population and nitrogen fertility for dryland corn in western Nebraska. *Agronomy Journal* 95:878-883.
- CIMMYT y IBPGR. 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. 88 p.
- Cano, O., O. H. Tosquy, M. Sierra y F. A. Rodríguez. 2001. Fertilización y densidad de población en genotipo de maíz, cultivados bajo condiciones de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):199-203.
- Cervantes, O. F., J. Covarrubias P., J. A. Rangel L., A. D. Terrón I., M. Mendoza E. y R. E. Preciado O. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 24(1): 101-110.
- Córdova, H. S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. *Agronomía Mesoamericana* 2: 1-10.
- De la Cruz-Lázaro, E., H. Córdoba-Orellana, M. A. Estrada-Botello, J. D. Mendoza-Palacios, A. Gómez-Vázquez y N. P. Brito-Manzano. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia* 25(1): 93-98.
- Delouche, J. C. and P. Cadwell, W. 1962. Seed vigour and vigour test. *Proc. Assoc. Offi c. Seed Anal.* 50:124-129.

- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1978. Norma Mexicana (NMX-F-089-S-1978). Determinación de Extracto Etéreo. Método de Soxhlet. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. México, D. F. 3 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF).1980. Norma Mexica (NMX-F-068-S-1980). Determinación de Proteínas. Dirección General de Normas. México. D. F. 3 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2002. Norma Mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano, cereales, maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Dirección General de Normas. México, D. F. 22 p.
- Espinosa, T. E., Ma. Del C. Mendoza C. y J. Ortíz C. 2004. Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones prolíficas de maíz, bajo dos densidades de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana 27(1); 39-41.
- Espinosa C., A. y M. Tadeo R. 1990. Tecnología de producción de semillas del híbrido de cruz a doble de maíz H-137 de Valles Altos. Resúmenes del XIII Congreso Nacional de Fitotecnia. Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar". Cd. Juárez Chih. México. 370 p.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2015. Panorama Agroalimentario. (Maíz 2015). Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. p. 36.
- Gutiérrez, R., y M. Luna. 2002. Riego, densidad de plantas y fertilización nitrogenada en producción de híbridos de maíz en Zacatecas. Agricultura Técnica en México 28(2):95-103.
- Heath, J. 2012. La demanda está en el maíz amarillo. Agrosíntesis. [En línea]. Disponible en <http://agrosintesis.com/la-demanda-esta-maiz-amarillo/> (Revisado el 03 de octubre de 2016).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Reporte anual. Ciencia y tecnología para el campo mexicano. Maíz. México D.F. pp. 11-14.
- Khan, K., M. Idbal, Z. Shah, B. Ahmad, A. Azim and H. Sher. 2003. Grain and stover yield of corn with varying times of plant density reduction. Pakistan Journal of Biological Sciences. 6: 1641-1643.
- Luna F. M., J. R. Gutiérrez S., A. Peña R., F. G. Echavarría C. y J. Martínez G. 2005. Comportamiento de variedades precoces de maíz en la región semiárida y árida del Centro-Norte de México. Fitotecnia Mexicana 28:39-45.

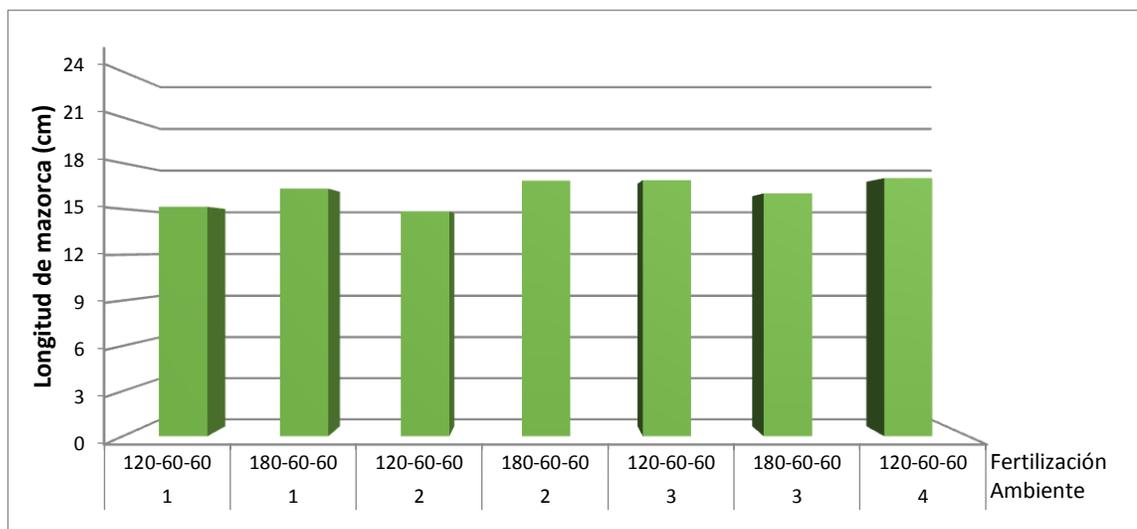
- Maya L., J. B. y J. L. Ramírez D. 2002. Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Fitotecnia Mexicana* 25(4): 333-338.
- Martínez, L. C., O. Mendoza, L. E. García de los Santos, Ma. del C. Mendoza, C. y A. Martínez, G. 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización. *Fitotecnia Mexicana* 28:127-133.
- Martínez, S. J., J. Virgen V., M. G. Peña O. y A. Santiago R. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(3): 289-304.
- Martínez R., J. N., N. A. Ruíz Torres., F. Rincón Sánchez, J. M. Martínez Reyna y H. C. Burciaga Dávila. 2013. Densidad de población y niveles de fertilización en el rendimiento y propiedades físicas del grano en semillas de maíz criollo. *Revista Agraria* 10(1): 9-17.
- Mendoza E., M., C. Mosqueda V., J. A. Rangel L., A. López B., S. A. Rodríguez H., L. Latournerie M. y E. Moreno M. 2006. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. *Agricultura Técnica en México*. 32(1): 89-99.
- Mendoza E., M., N. Moran V., E. Adrio E., A. López B., S. A. Rodríguez H. y G. Castañón N. 2007. Efecto del nitrógeno y la densidad de población en el contenido de lisina en la semilla de maíz en México. *Agronomía Mesoamericana* 18(2): 177-183.
- Morales, J. A. 1998. Fertilización y densidad de población en líneas de maíz en el noreste de México. *Agronomía Mesoamericana* 9(2): 125-130.
- Moreno, M., E. 1996. Análisis físico y biológico de las semillas agrícolas. 3ª Ed. Instituto de Biología UNAM. México. pPp. 237-303.
- Njoka, E.M., M. Muraya, y M. Okumo. 2005. Plant density and thinning regime effect on maize (*Zea mays*) grain and fodder yield. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 215-1219.
- Ochoa, M., W. Hernández, B. Rosas, y M. Carrasco. 2009. Evaluación de variedades de maíz cubano. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 9(2): 63-68.
- Ortíz F., P. y V. D. Solano R. 1987. Evaluación de la respuesta del cultivo de maíz de riego a factores, nitrógeno, fósforo y densidad de población en la Sierra de Chihuahua. CESICH-CIFAP-INIFAP, Cd. Cuauhtémoc, Chih. 12 p.
- Ortíz M., J. I., N. Palacios R., E. Meny, K. Pixley, R. Trethowan and R. J. Peña. 2007. Enriching the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science*, 46: 293-307.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2013. Estadísticas. FAOSTAT. Producción agrícola. (<http://www.fao.org/org/corp/statistics/es/>; 2 de febrero de 2013).
- Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. 376 p.
- Raeker, M., Ö., C. S. Gaines, P. L. Finney and T. Donelson. 1998. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry*. 75:721-728.
- Raya P., J. C., C. L. Aguirre M., J. G. Medina O., J. G. Ramírez P., E. Andrio E., A. Castellanos S. y J. Covarrubias P. 2012. Calidad física y fisiológica de semillas en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4): 633-641.
- Ruiz, T., N. A., F. Rincón S., V. M. Bautista M., J. M. Martínez R., H. C. Burciaga D. y M. Olvera E. 2012. Calidad fisiológica de semillas en dos poblaciones de maíz criollo mejorado. *Revista Agraria* 9(2): 43-48.
- Sangoi, L. 2000. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural*. Santa María. 31(1): 159-158.
- Secretaria de Hacienda y Crédito Público y Financiera Nacional de Desarrollo (SHCP y FND). 2014. Panorama del maíz. Dirección General Adjunta de planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información. México D.F. 2 p.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2010. Normas climatológicas 1981-2010. El Cuije, Galeana, Nuevo León. En línea: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-Estado?Estado=nl>. TXT. Fecha de consulta: 10 de Junio de 2016.
- Sharanjit, S.B. and J. Douglas. 1992. Designing successful farmer-managed seed systems. Winrock International Institute for Agricultural Development Studies Paper Series. Morrilton, AR, USA, Winrock International. 77 p.
- Sierra, M., M., A. Palafox C., G. Vázquez C., F. Rodríguez M. y A. Espinosa C. 2010. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutrición de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana* 21 (1): 21-29.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA). 2014. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996 - 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 208 p.

- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2013. Guía técnica para la descripción varietal. Maíz. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 25 p.
- Southworth J., J. C. Randolph, M. Habeck, O. C. Doering, R. A. Pfeifer, D. G. Rao and J. J. Johnston. 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the Midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 82: 139-158.
- Stoddard, F. L. 1999. Survey of starch particle-size distribution in wheat and related species. *Cereal Chemistry*. 76:145-149.
- Tester, R. F., J. Karidakis, and Qi. X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*. 39(2):151-165.
- Torres M., B., B. Coutiño E., A. Muñoz O., A. Santacruz V., A. Mejía C., S. Serna, S. García L. y N. Palacios R. 2010. Selección para contenido de aceite en el grano de variedades de maíz de la raza comiteco de Chiapas, México. *Agrociencia*. 44:679-689.
- Virgen V. J., R. Zepeda B., M. A. Ávila P., A. Espinosa C., J. L. Arellano V. y A. J. Gámez V. 2014. Producción de semillas de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana* 25(2): 323-335.
- Watson, S. A. 1987. Structure and composition. *In* S.A. Watson y P.E. Ramstad. eds. *Corn: chemistry and technology*. St Paul, EE.UU., American Association Cereal Chemistry. 53-82 p.
- Wang, D., S. y R. Eckhoff. 2000. Effect of broken corn levels on water absorption and steepwater characteristics. *Cereal Chemistry*. 77:525-528.
- Xiang L., T. Takahashi, N. Suzuki y H. M. Kaiser. 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems*. 104: 348-353.
- Yasari, E., M. Noori and M. Haddadi. 2012. Comparison of seed corn single crosses SC 704 and SC 770 response to different plant densities and nitrogen levels. *Journal of Agricultural Science* 4(5):263-272.
- Zepeda, B., R., A. Carballo C. y C. Hernández A. 2009. Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Revista Agrociencia* 43(7): 695-706.

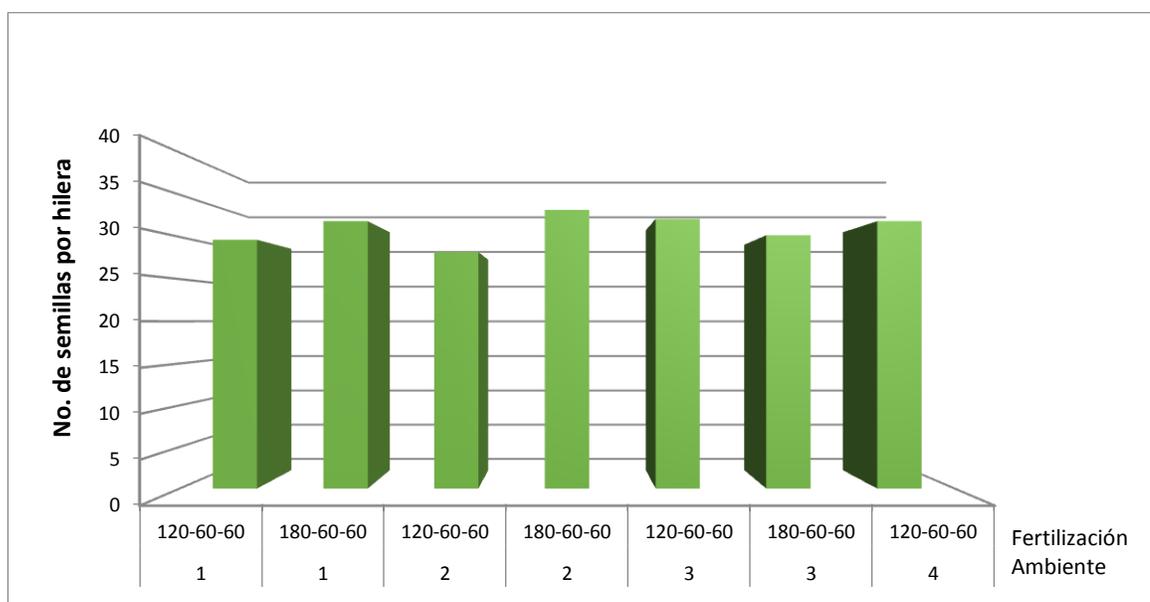
ANEXOS

Figura A.1. Promedios para longitud de mazorca en la caracterización para la interacción fertilización por ambiente.



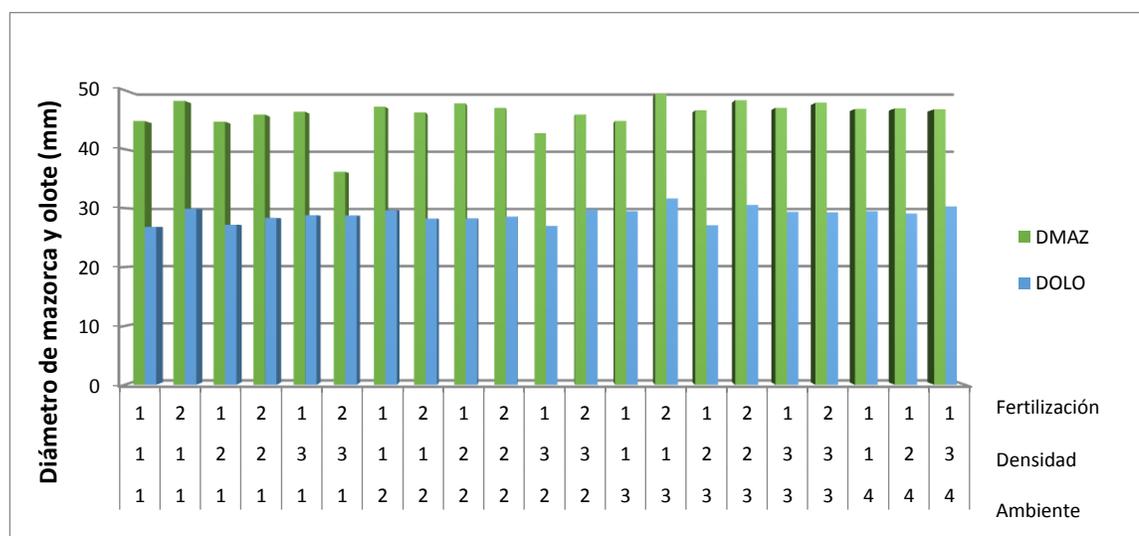
Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.2. Promedios para semillas por hilera en la caracterización para la interacción fertilización por ambiente.



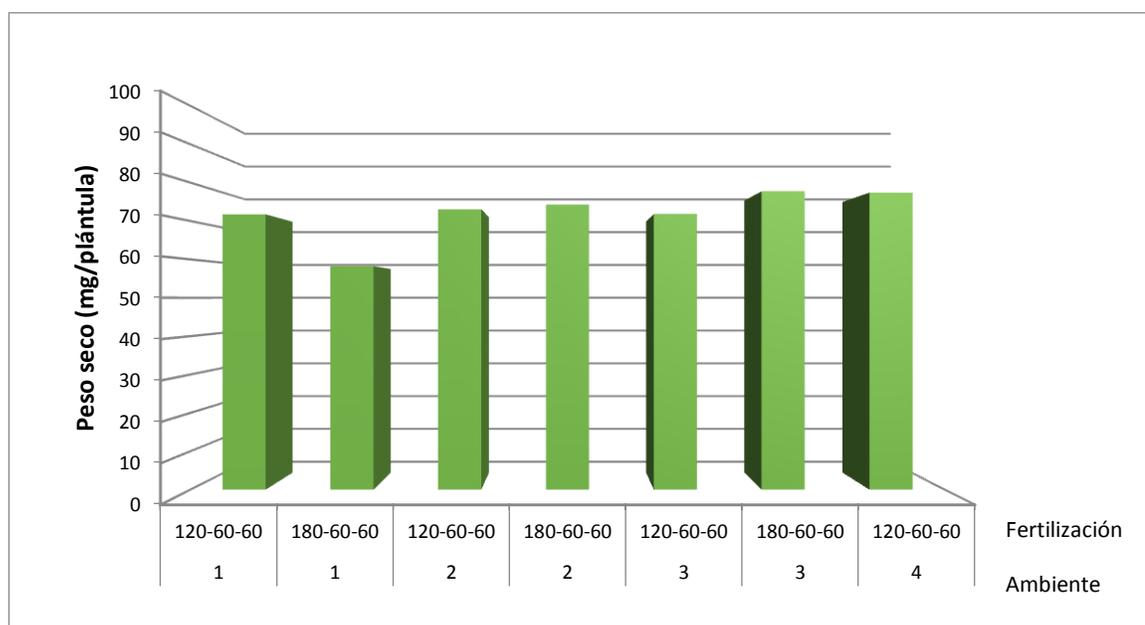
SHIL = Semillas por hileras; Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.3. Promedios para diámetro de mazorca (DMAZ) y diámetro de olote (DOLO) en la caracterización para la interacción fertilización por densidad por ambiente.



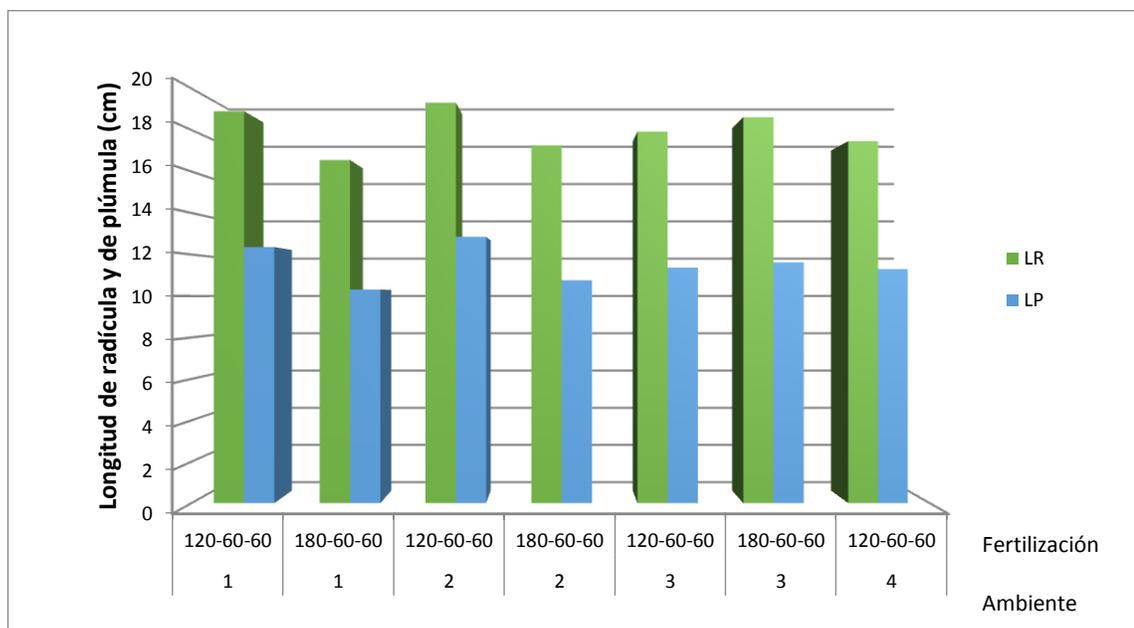
Fertilización (1 = 120-60-60; 2 = 180-60-60 de N-P-K); Densidad (1 = 60,000; 2 = 70,000; 3 = 80,000 plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.4. Promedios para peso seco en el ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción fertilización por ambiente.



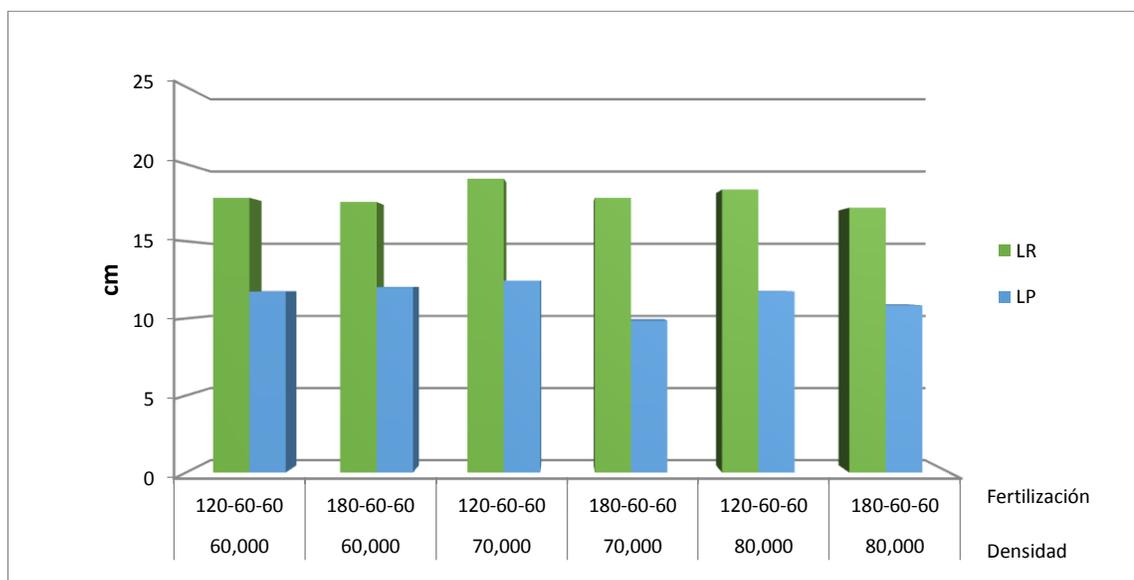
Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.5. Promedios para longitud de radícula (LR) y longitud de plúmula (LP) en el ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción fertilización por ambiente.



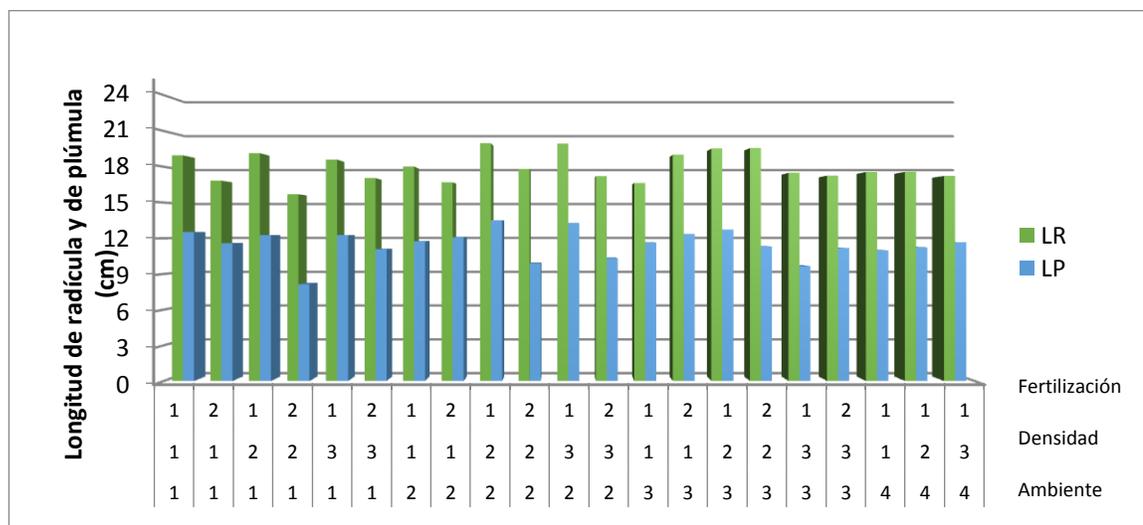
Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.6. Promedios para longitud de radícula (LR) y longitud de plúmula (LP) en el ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción fertilización por densidad.



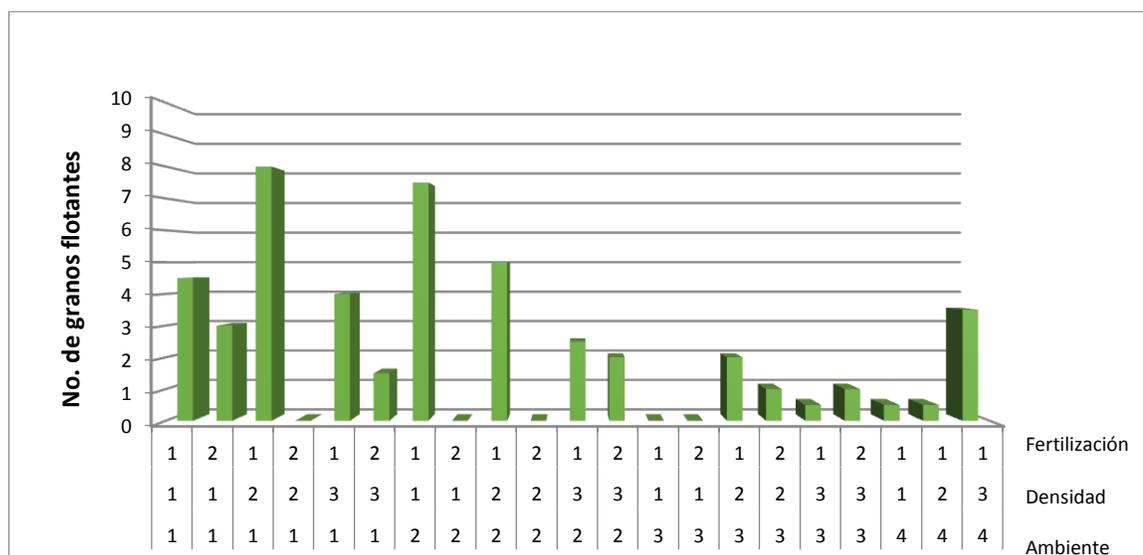
Densidad (plantas ha⁻¹); Fertilización (N-P-K).

Figura A.7. Promedios para longitud de radícula (LR) y longitud de plúmula (LP) en el ensayo de calidad fisiológica de la semilla para la interacción fertilización por densidad por ambiente.



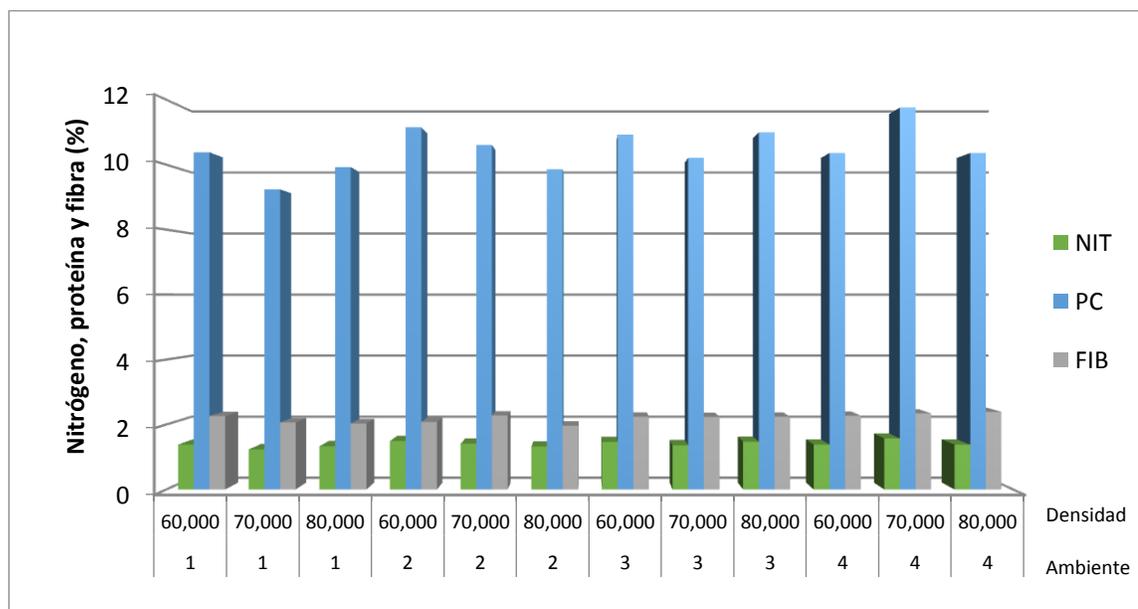
Fertilización (1 = 120-60-60; 2 = 180-60-60 de N-P-K); Densidad (1 = 60,000; 2 = 70,000; 3 = 80,000 plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.8. Promedios de granos flotantes para dureza de grano en la interacción fertilización por densidad por ambiente.



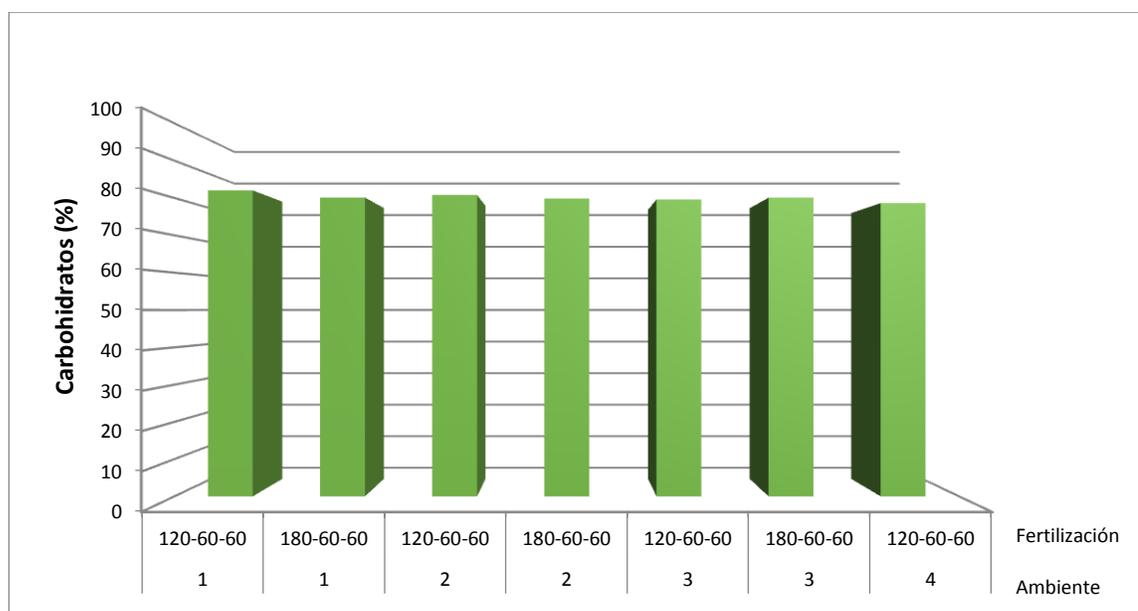
Fertilización (1 = 120-60-60; 2 = 180-60-60 de N-P-K); Densidad (1 = 60,000; 2 = 70,000; 3 = 80,000 plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.9. Promedios de nitrógeno (NIT), proteína (PC) y fibra (FIB) para el análisis bromatológico en la interacción densidad por ambiente.



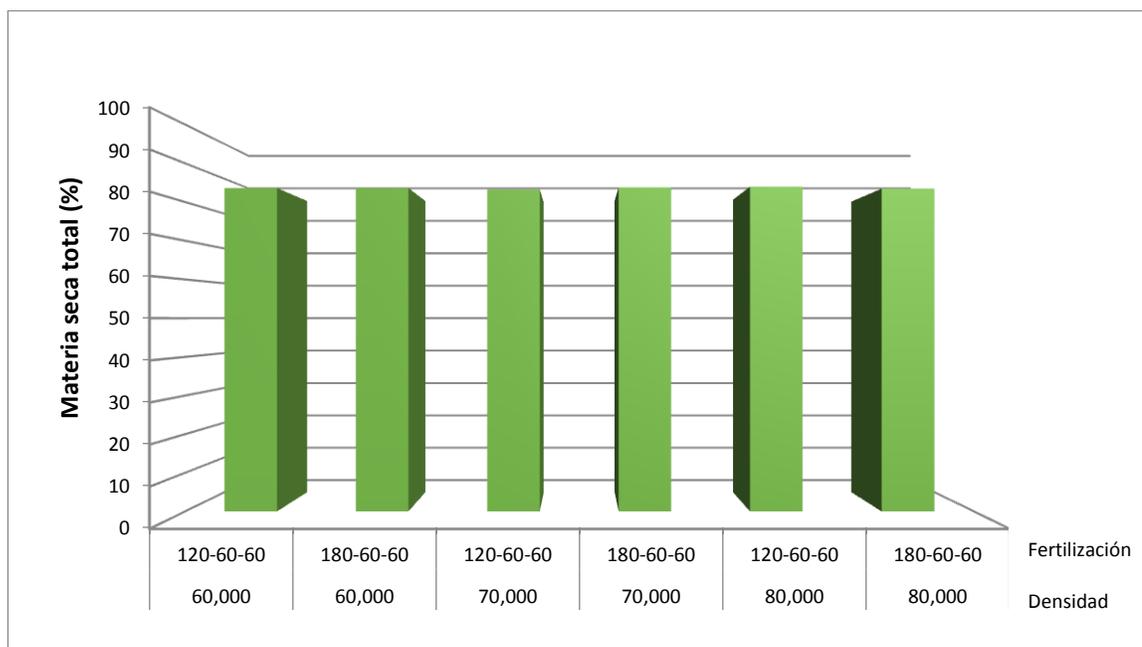
Densidad (plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.10. Promedios de carbohidratos para el análisis bromatológico en la interacción fertilización por ambiente.



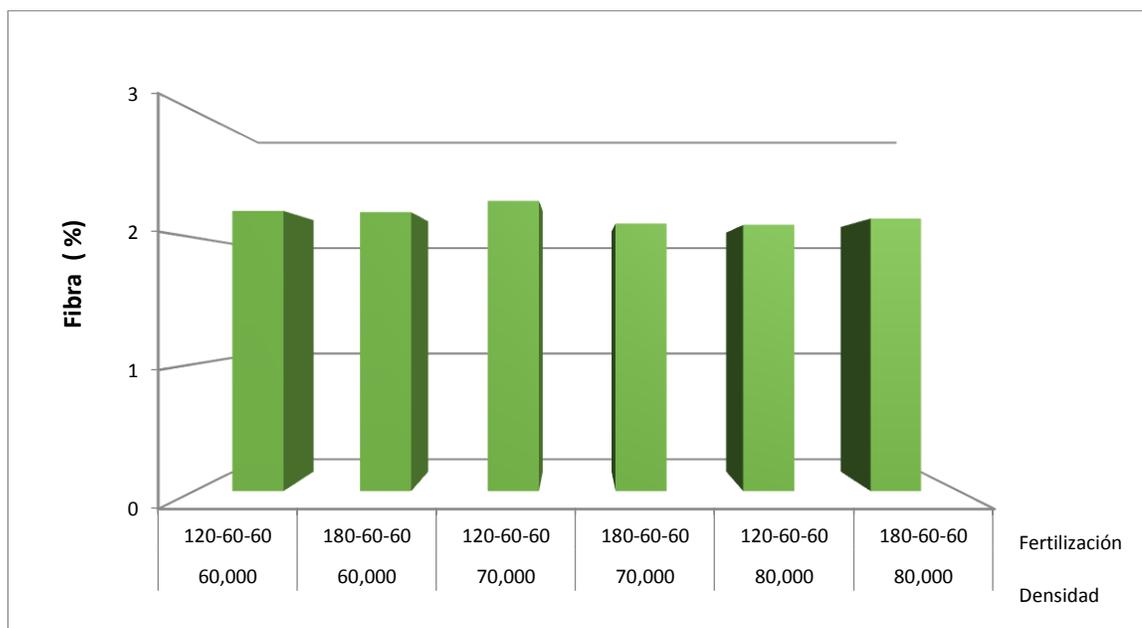
Fertilización (N-P-K); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.11. Promedios de materia seca total para el análisis bromatológico en la interacción fertilización por densidad.



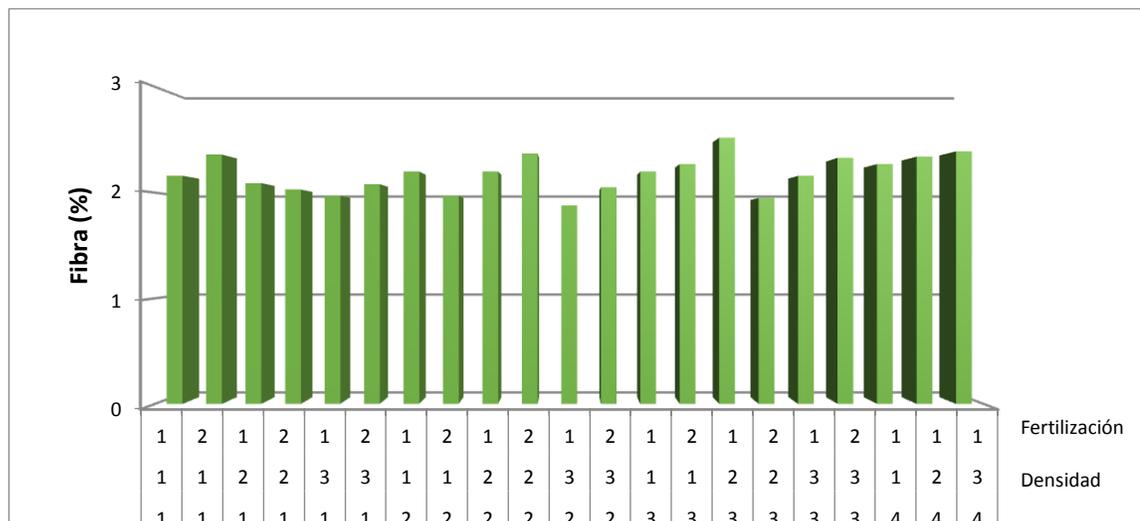
Fertilización (N-P-K); Densidad (plantas ha⁻¹).

Figura A.12. Promedios de fibra para el análisis bromatológico en la interacción fertilización por densidad.



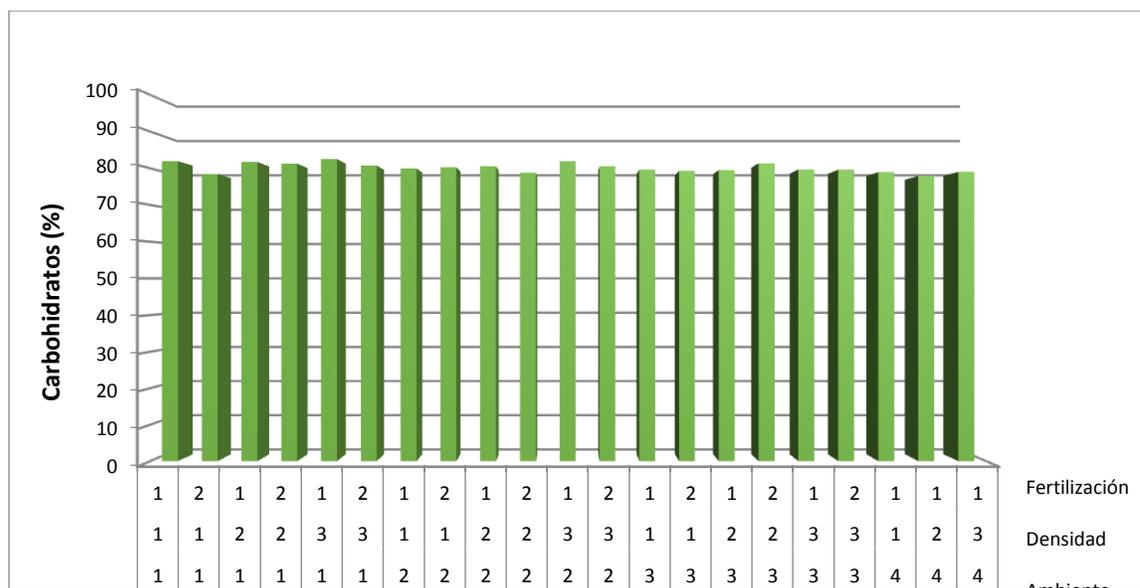
Fertilización (N-P-K); Densidad (plantas ha⁻¹).

Figura A.13. Promedios de fibra para el análisis bromatológico en la interacción fertilización por densidad por ambiente.



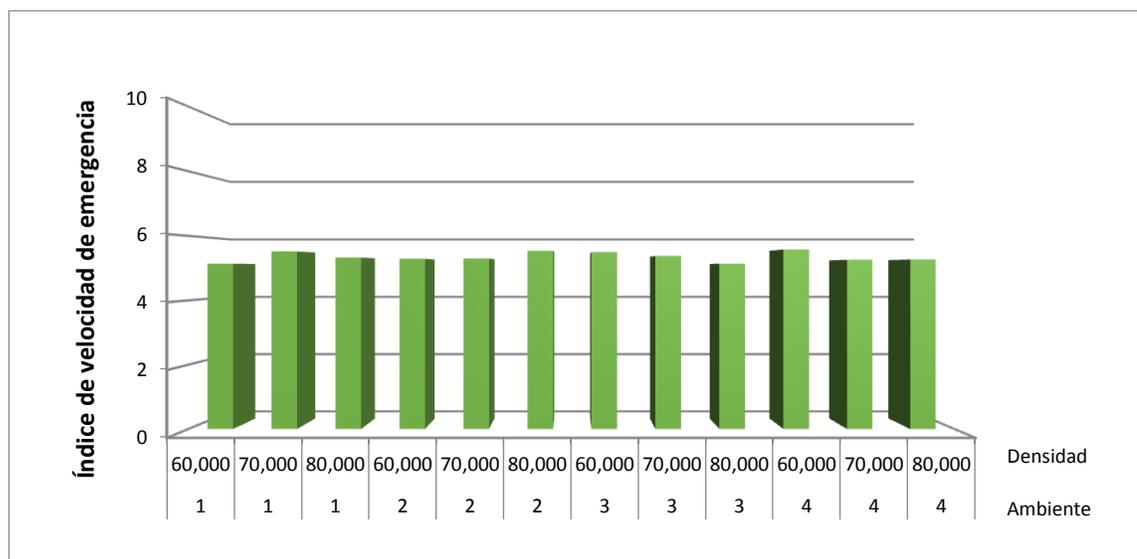
Fertilización (1 = 120-60-60; 2 = 180-60-60 de N-P-K); Densidad (1 = 60,000; 2 = 70,000; 3 = 80,000 plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.14. Promedios de carbohidratos para el análisis bromatológico en la interacción fertilización por densidad por ambiente.



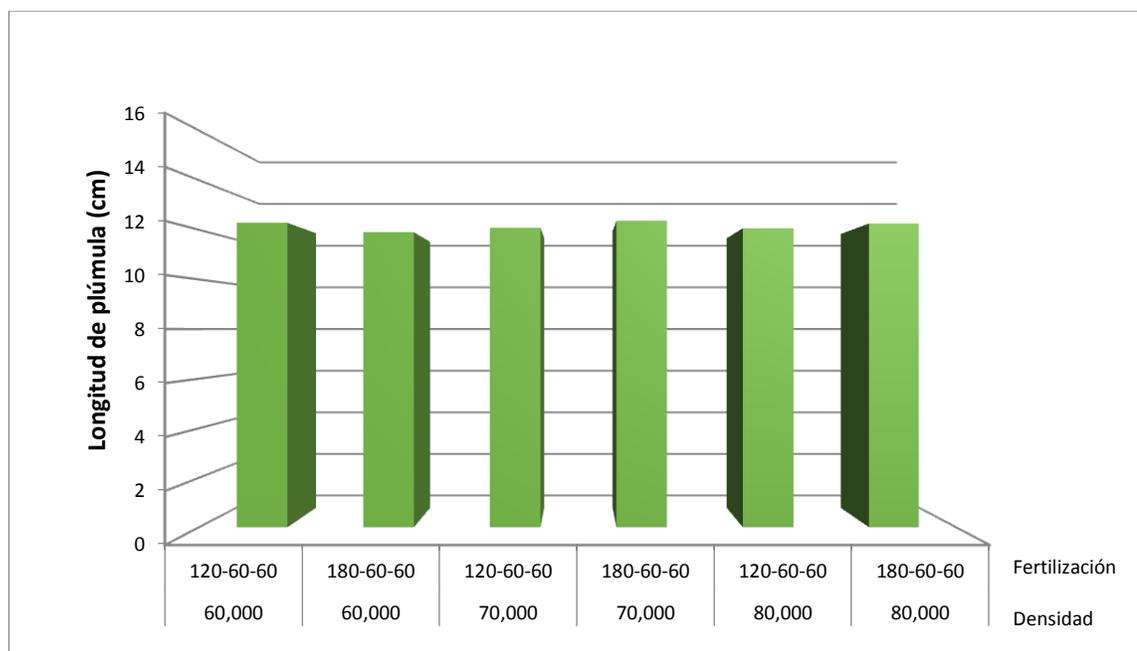
Fertilización (1 = 120-60-60; 2 = 180-60-60 de N-P-K); Densidad (1 = 60,000; 2 = 70,000; 3 = 80,000 plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.15. Promedios del índice de velocidad de emergencia para la interacción densidad por ambiente.



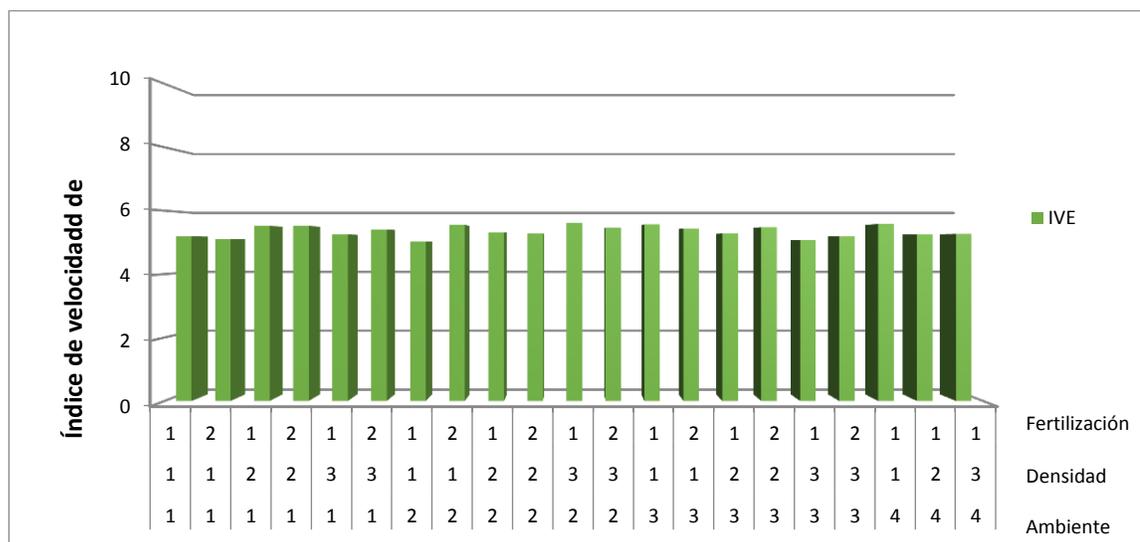
Densidad (plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.16. Promedios de longitud plúmula para el índice de velocidad de emergencia en la interacción fertilización por densidad.



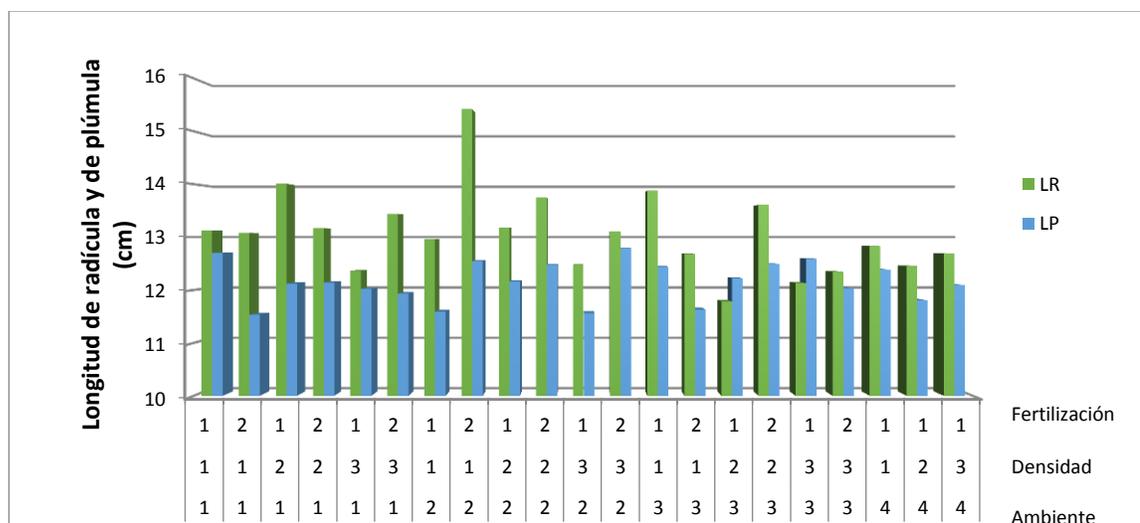
Fertilización (N-P-K); Densidad (plantas ha⁻¹).

Figura A.17. Promedios para el índice de velocidad de emergencia (IVE) en la interacción fertilización por densidad por ambiente.



Fertilización (1 = 120-60-60; 2 = 180-60-60 de N-P-K); Densidad (1 = 60,000; 2 = 70,000; 3 = 80,000 plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.

Figura A.18. Promedios de longitud de radícula (LR) y longitud de plúmula (LP) para el índice de velocidad de emergencia en la interacción fertilización por densidad por ambiente.



Fertilización (1 = 120-60-60; 2 = 180-60-60 de N-P-K); Densidad (1 = 60,000; 2 = 70,000; 3 = 80,000 plantas ha⁻¹); Ambiente = Procedencia de la semilla en campo.