

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE  
MAÍZ CRIOLLO MEJORADO OBTENIDA BAJO DIFERENTES  
ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN**

**LEONARDO JOSÉ BAUTISTA PÉREZ**

**T E S I S**

**Presentada como requisito parcial para  
obtener el grado de:**

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA  
DE GRANOS Y SEMILLAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre de 2010.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**Determinación de la calidad fisiológica de semilla de maíz criollo mejorado  
obtenida bajo diferentes estrategias de producción.**

**TESIS**

**POR:**

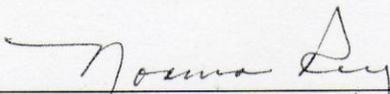
**LEONARDO JOSÉ BAUTISTA PÉREZ**

**Elaborada bajo supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como  
requisito parcial, para obtener el grado de**

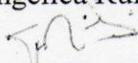
**MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS**

**COMITÉ PARTICULAR**

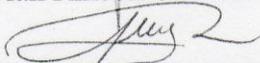
Asesor principal:

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

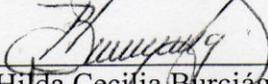
Asesor:

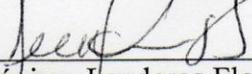
  
\_\_\_\_\_  
Dr. Froylán Rincón Sánchez

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Manuel Martínez Reyna

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Hilda Cecilia Burciaga Dávila

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Director de Postgrado

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre 2010

## AGRADECIMIENTOS

- ✓ A mi “**Alma Terra Mater**”, por haberme brindado todas las facilidades para obtener el título de la maestría en tecnología de semillas y con ello escalar un peldaño más en mi vida profesional.
  
- ✓ A la **Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres**, gracias por permitirme ser parte del equipo de trabajo de investigación, por orientarme en todo momento solicitado y más aun por su gran y para mí, valiosa amistad.
  
- ✓ Al **Ph. D. Froylán Rincón Sánchez**, por la orientación y dirección del presente trabajo de investigación, por el apoyo desinteresado en las actividades de campo y las sugerencias al respecto.
  
- ✓ Al **Ph. D. Juan Manuel Martínez Reyna**, por su valiosa participación en este trabajo de investigación. Por las sugerencias, revisiones y correcciones al documento de tesis.
  
- ✓ A la **M. C. Hilda Cecilia Burciaga Dávila**, de igual manera, por su valiosa participación en este trabajo de investigación. Por las sugerencias, revisiones y correcciones al documento de tesis.
  
- ✓ Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el financiamiento de mis estudios.

- ✓ A mi buen amigo **Ph. D. Enrique Navarro Guerrero**, por haber estado ahí en los momentos más gratos y más difíciles dentro de mi vida como estudiante, gracias a ello, aprendí a ser paciente.
  
- ✓ A mi buen amigo **Ph. D. Sergio I. Dávila Cabello**, por brindarme sus conocimientos desinteresadamente y permitirme ser uno más de sus amigos.
  
- ✓ A la **T. A. Martina de la Cruz Casillas**, por el apoyo en laboratorio para la realización del presente trabajo.
  
- ✓ A la **T. Q. L. Sandra Luz García Valdez**, por su valioso apoyo en laboratorio para la realización del presente trabajo.
  
- ✓ A la **Lic. Sandra Roxana López Betancourt**, por su valioso apoyo en la estructuración y edición del presente trabajo de investigación.
  
- ✓ A mis amigos y compañeros de generación: **Santiago, Santos, Víctor, Daniela y Lucelia**, por los momentos inolvidables que pasamos juntos, así también quiero mencionar a mis buenos amigos: **Luis Guerra Zitlalapa, Arturo Tenango Pérez, Efrén Ángeles Baltazar y Julio Cesar Toledo Solís**.

## DEDICATORIA

Con profunda admiración y respeto, a mis padres:

**Sr. Lauro Sebastián Bautista Cruz**

**Sra. Juliana Florina Pérez Hernández**

Quienes a pesar de venir de cuna humilde, siempre trataron de darle lo mejor a sus hijos. No puedo describir la alegría que para ellos significa este logro, con esa confianza espero poder corresponderles a ellos y a mi futura familia como se lo merecen.

A mi hermana **Hilda**, mi cuñado **Leopoldo**, a mis sobrinas **Diana**, **Sonia** y a la pequeña **Tania**, gracias por aquellas enseñanzas que solo se pueden aprender en familia.

A la **Ing. María Elena Pérez Hernández**, me faltan palabras para poder describir los sentimientos que en mi despierta, a lo largo de estos años, te agradezco por ser la persona que me escucha, me anima y con quien mejor me siento al compartir mi tiempo, **TE AMO** y mientras me lo permitas quiero seguir a tu lado, tomados de la mano.

COMPENDIO

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE  
MAÍZ CRIOLLO MEJORADO OBTENIDA BAJO DIFERENTES  
ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN

POR:

LEONARDO JOSÉ BAUTISTA PÉREZ

MAESTRÍA

TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MAYO 2010.

Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres - Asesor –

Palabras clave: *Zea mays* L., Fertilización, Población, Calidad fisiológica.

Se determinó la calidad fisiológica de semilla de maíz criollo mejorado “JAGUAN” obtenida bajo diferentes estrategias, procedente de un lote de producción con diferentes densidades de población y niveles de fertilización, establecido en el ejido El Mezquite, en Galeana, N.L. Se evaluó por separado la semilla de ambos progenitores, realizándose dos estudios, en el primero se determinó la capacidad de germinación y en el segundo el índice de velocidad de emergencia y emergencia total en invernadero. En el primer estudio para el progenitor macho, los resultados más sobresalientes se encontraron para la variable germinación con 93.22 % en semilla procedente de la fertilización 120-60-60, para longitud media de plúmula con 14.74 cm en la fertilización 60-60-60 y un peso seco de 56.23 mg por plántula en la fertilización 120-60-60. El efecto de las densidades de población no presentó diferencias estadísticas en el resto de las variables en estudio. El progenitor hembra, mostró en la variable vigor un 81.44 % en la dosis de fertilización 00-00-00, en las demás variables de estudio no hubo diferencias estadísticas que permitieran establecer el efecto de los tratamientos; cabe señalar, que al comparar el efecto de la interacción de ambos factores, el vigor reportó un 89.0 % para la dosis de fertilización 00-00-00 con la densidad 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>, una germinación de 96.6 % en la interacción 120-60-60 con 40,000 plantas ha<sup>-1</sup> y un peso seco de 59.6 mg por plántula en la interacción 60-60-60 con 60,000 plantas ha<sup>-1</sup>. En el segundo estudio (invernadero), el efecto derivado de los tratamientos solo se presentó en el progenitor hembra, para el caso de las densidades de siembra los resultados más sobresalientes fueron, con 6.50 de índice de velocidad de emergencia en la densidad de población 40,000 plantas ha<sup>-1</sup> y un peso seco de 61.50 mg por plántula en la densidad de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>. El comportamiento de la semilla obtenida bajo las diferentes estrategias fue similar, no importando la fuente de origen.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SEED PHYSIOLOGICAL QUALITY OF AN  
IMPROVED MAIZE LANDRACE OBTAINED UNDER  
DIFFERENT PRODUCTION STRATEGIES

BY:

LEONARDO JOSÉ BAUTISTA PÉREZ

MASTER

GRAIN AND SEED TECHNOLOGY

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MAY 2010.

Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres - Asesor –

**Key words:** *Zea mays* L., Fertilization, Population, Physiological quality.

Physiological seed quality of “JAGUAN” an improved landrace population, obtained under different strategies was determined; the seed was generated in a production plot with different population densities and fertilization doses. Seed from both parents was evaluated separately, conducting two studies. In the first one, the germination capacity and the second the emergence speed index and total emergence in the greenhouse were determined. In the first study that included the male parent, significant results were found for the variables germination with 93.22 % for seed obtained from the 120-60-60 fertilization treatment, average plumule length with 14.74 cm in seeds from the 60-60-60 fertilization doses and dry weight with 56.23 per seedling in the 120-60-60 fertilization treatment. The population densities had no significant effect in the variables considered in this study. On the other hand, the female parent showed 81.44 % vigor in seeds obtained in the 00-00-00 fertilization treatment. The rest of the variables did not show significant response for the applied treatments. The fertilization\*density interaction, had 89.0 % vigor in the 00-00-00 fertilization treatment with 50.000 plants ha<sup>-1</sup>, 96.6 % germination in the 120-60-60 fertilization doses with 40,000 plants ha<sup>-1</sup> and 59.6 mg of dry per seedling in the interaction of 60-60-60 with 60,000 plants ha<sup>-1</sup>. In the second study (greenhouse), the effect of the treatments was only expressed in the female parent, for plant densities, the most significant results were emergence speed index with 6.50 for 40.000 plants ha<sup>-1</sup> and 61.50 mg dry per seedling in the 50,000 plants ha<sup>-1</sup> density. The seed performance obtained under the different production strategies was similar, regardless of the source.

| <b>CONTENIDO</b>  | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| ÍNDICE DE CUADROS.....  | xi          |
| I. INTRODUCCIÓN.....  | 1           |
| Objetivo.....   | 3           |
| Hipótesis.....  | 3           |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 4           |
| Maíces criollos, importancia y conservación.....  | 4           |
| Factores que influyen en el desarrollo del cultivo.....                                   | 5           |
| Rendimiento y Fertilización.....  | 6           |
| Producción de maíz bajo diferentes densidades y niveles de fertilización.....             | 7           |
| Calidad de la semilla.....  | 9           |
| Convergencia de la calidad de la semilla.....   | 10          |
| Calidad Fisiológica.....  | 11          |
| Prueba de germinación y definición de vigor.....  | 12          |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 14          |
| Estudio I: Determinación de la capacidad de germinación ...                               | 15          |
| Estudio II: Determinación del índice de velocidad de emergencia (IVE) en invernadero..... | 16          |
| Análisis estadístico.....   | 19          |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 21          |
| Estudio I: Determinación de la capacidad de germinación....                               | 22          |
| Estudio II: Determinación del índice de velocidad de emergencia (IVE) en invernadero..... | 31          |
| V. CONCLUSIONES.....  | 38          |
| VI. LITERATURA CITADA.....  | 39          |

## ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Cuadro 4.1  | Cuadrados medios del análisis de varianza para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor macho.....                                    | 22 |
| Cuadro 4.2  | Comparación de Medias de los niveles de fertilización para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor macho.....                        | 23 |
| Cuadro 4.3  | Medias de los niveles de densidad para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor macho.....  | 25 |
| Cuadro 4.4  | Cuadrados medios del análisis de varianza para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra.....                                   | 26 |
| Cuadro 4.5  | Comparación de Medias de los niveles de fertilización para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra.....                       | 27 |
| Cuadro 4.6  | Medias de los niveles de densidad para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra.....   | 28 |
| Cuadro 4.7  | Comparación de Medias en base a la interacción fertilización por densidades para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra..... | 29 |
| Cuadro 4.8  | Cuadrados medios del análisis de varianza para el índice de velocidad de emergencia de la población usada como progenitor macho.....                                    | 31 |
| Cuadro 4.9  | Medias de los niveles de fertilización de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor macho.....                                     | 32 |
| Cuadro 4.10 | Medias de los niveles de densidad de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor macho.....  | 32 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Cuadro 4.11 | Cuadrados medios del análisis de varianza para el índice de velocidad de emergencia de la población usada como progenitor hembra.....          | 34 |
| Cuadro 4.12 | Medias de los niveles de fertilización de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor hembra.....           | 34 |
| Cuadro 4.13 | Comparación de Medias de los niveles de densidad de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor hembra..... | 36 |

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) de la familia de las gramíneas, es una planta originaria de Mesoamérica que se ha cultivado desde hace unos 10,000 años, y destaca su importancia como alimento en casi todos los países de América. A partir de la llegada de los españoles, se dio a conocer a Europa y de ahí a todo el mundo, por lo que en la actualidad es un cultivo cosmopolita.

Por su amplia capacidad de adaptación, su rendimiento y así como las posibilidades futuras de mejora por vía genética, hacen de éste uno de los cultivos más prometedores para afrontar la amenaza del hambre en el mundo.

El maíz en México representa la mitad del volumen total de alimentos que se consume cada año y proporciona a la población cerca de la mitad de las calorías requeridas (Castañeda, 2006). México, importa gran cantidad para satisfacer la demanda interna; aunque se siembran y cosechan alrededor de 8 millones de hectáreas cada año, de las cuales más de un millón es de riego (13.6 %) y el resto es de temporal (86.4 %), cuya producción promedio es de 3.32 toneladas por hectárea (SIAP, 2010). La producción en tierras de temporal es mayormente de semillas criollas, en gran parte son utilizadas por los agricultores, mientras que un bajo porcentaje de ellos usan semilla mejorada (SIAP, 2007).

Las semillas criollas se adaptan a diferentes ambientes y alturas, son utilizadas por campesinos de escasos recursos con mínimos apoyos gubernamentales e insuficiente asesoría técnica (SAGARPA, 2002), lo cual repercute en bajos rendimientos por hectárea.

La producción de maíz criollo generalmente se lleva a cabo sobre suelos de baja calidad, no importando si son llanos o laderas y bajo las condiciones climáticas de la región donde se establezca, se puede suponer que la semilla criolla en estas condiciones no expresa todo su potencial genético y es el único germoplasma capaz de producir algo sobre suelos tan pobres.

Hoy día, existen relativamente pocos programas encaminados a su mejoramiento y la asistencia técnica se ha desmantelado generando un vacío de cerca de 18 años.

Dada esta problemática y conociendo el potencial genético que posee el material criollo evaluado, no debe quedar de lado el estudio de la calidad fisiológica de la semilla. Por lo que en este estudio se determina la calidad fisiológica de semilla de maíz criollo mejorado obtenida bajo diferentes estrategias de producción.

## **OBJETIVO**

Determinar el efecto de diferentes estrategias de producción (progenitores hembra y macho), densidades de siembra y niveles de fertilización en la calidad fisiológica de la semilla.

## **HIPÓTESIS**

La reducción del número de plantas por hectárea y el incremento en los niveles de fertilización en plantas hembra repercute en una mejor calidad fisiológica de la semilla.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Maíces criollos, importancia y conservación**

Los maíces criollos mexicanos son valiosos por su gran diversidad genética y su uso potencial en el desarrollo de variedades mejoradas a través de técnicas modernas (PRECESAM, 2008). A nivel mundial nuestro país es reconocido por su gran riqueza biológica, sobresaliendo el maíz, el cual está representado por al menos 50 razas (Hernández, 1999). En tanto que Sánchez *et al.* (2000) mencionan que son 59 razas de maíz.

Entre las características que determinan el uso de semillas criollas se puede señalar que poseen mejor capacidad de adaptación tanto a sequías, suelos pobres y condiciones climáticas extremas e incluso son más resistentes a plagas (Perales *et al.*, 2003).

Otros autores (Perales *et al.*, 2005; Soleri *et al.*, 2006), reportan que las variedades criollas de maíz requieren menos agroquímicos en comparación con las semillas mejoradas e híbridas, ya que gran parte de su rentabilidad se explica por el uso de los mismos. Los agricultores que usan variedades criollas son más intensivos en mano de obra y menos intensivos en agroquímicos y maquinaria.

Por otra parte, el desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas ha traído como consecuencia un avance significativo en los países de primer mundo, con ello la producción y rendimiento de sus cultivos cada vez han sido más eficientes, dejando de lado la agricultura y materiales de uso tradicional. En contraste, en

los países en vías de desarrollo y del tercer mundo el uso de tecnologías se ven limitadas por los recursos con los que se cuenta y se ve limitado o nulificado su desarrollo.

De ahí que investigadores preocupados por la conservación y desarrollo de semillas criollas o nativas de cada región y de sus prácticas culturales, han desarrollado junto con los productores nuevos sistemas que les permitan conservar sus materiales y que con ello se mejore la progenie de los cultivos, aunado a ello, se debe tomar en consideración estudios que permitan evaluar la calidad fisiológica de la semilla.

### **Factores que influyen en el desarrollo del cultivo**

Para una producción exitosa, se requiere que el ambiente en el cual se va a desarrollar la planta de maíz, garantice un apropiado contacto suelo-semilla, suficiente humedad aprovechable, temperatura óptima, buena aireación, oportuna disponibilidad de nutrimentos, ausencia de sustancias tóxicas y una adecuada profundidad efectiva para el desarrollo de las raíces, de tal manera que la germinación, el establecimiento de las plántulas, el desarrollo y productividad del cultivo estén garantizados (Marcano, 2000).

Petrovich y Prokofeva (1996) mencionan que para obtener una buena producción de semilla, la especie cultivada debe adaptarse perfectamente a las condiciones climáticas de la región, ya que el crecimiento vegetativo como la fructificación de las plantas no depende solo de los factores genéticos, sino de la interacción que establezca con los factores del medio ambiente tales como: temperatura, luz, humedad del aire, condiciones del suelo, velocidad del viento, entre otros.

Por su parte Martín *et al.* (1976) aseguran que los cultivos tienden a ser más productivos cuando su desarrollo vegetativo se lleva a cabo en regiones donde están adaptados, reflejándose así un crecimiento normal y uniforme, dando esto como resultado un alto rendimiento.

El clima constituye el factor de producción más importante en la producción de maíz, dado que la mayor área sembrada de este cereal, a escala mundial, se realiza en condiciones de temporal; de ahí, que su distribución geográfica dependa, entre otros factores climatológicos, de la cantidad y distribución de las lluvias (Rodríguez, 2000).

### **Rendimiento y Fertilización**

El rendimiento del maíz está determinado principalmente por el número final de granos obtenidos por unidad de superficie, por lo tanto, para alcanzar altos rendimientos, el cultivo debe lograr un óptimo estado fisiológico en floración: cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa. Los nutrientes disponibles en el suelo generalmente limitan la producción de maíz, siendo necesario conocer los requerimientos del cultivo y la oferta del suelo para determinar las necesidades de fertilización (García, 2005).

La nutrición óptima del maíz es un factor interno de primer orden y depende de la disponibilidad de los nutrimentos en el suelo, así como, la habilidad del sistema radical de la planta para absorberlos y usarlos en los procesos metabólicos (Casanova, 2000).

La fertilización consiste en aplicar los nutrientes en las cantidades necesarias para un óptimo desarrollo del cultivo de maíz, lo cual determinara la producción y su calidad. Los elementos comúnmente empleados son nitrógeno, fósforo y

potasio; las dosis y la frecuencia de aplicación dependen de las etapas fenológicas de la planta, del tipo de suelo, del sistema de humedad que se maneje, de la composición de nutrientes disponibles y faltantes en el suelo, así como de la disponibilidad de recursos económicos (SRA, 2009).

Por su parte, Aldaco *et al.* (1989) indican que el nitrógeno y fósforo contribuyen favorablemente en la división celular y el crecimiento, así como en la síntesis de ADN, ARN y proteínas, además de intervenir en la floración, maduración de las cosechas y el desarrollo radical durante la germinación de la semilla.

El ion potasio (K) es un macro nutriente esencial requerido en grandes cantidades para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos. Algunas de las principales funciones de las plantas donde el K<sup>+</sup> está comprometido son: la osmoregulación, la síntesis de los almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas (Maathuis y Sanders, 1994; Marschner, 1995). Cantidades adecuadas de potasio son importantes contribuyentes en la adaptación de los cultivos al stress causado por factores bióticos y abióticos, tales como sequías, salinidad, heladas, ataques de insectos o enfermedades (Kafkafi, 1990; Kafkafi, 1997).

### **Producción de maíz bajo diferentes densidades y niveles de fertilización**

El principal propósito de la densidad de siembra, es lograr una población adecuada de plantas que tengan un crecimiento y desarrollo vigoroso, por ello las densidades de siembra recomendadas para producción de semilla son menores a aquellas recomendadas para producción comercial. Las densidades de siembra dependen de la calidad fisiológica de la semilla, cuyo porcentaje de germinación debe alcanzar el 98 % y en todo caso no menor de 85 % (Córdova *et al.*, 1992).

Gordon *et al.* (1993) evaluando materiales de maíz con densidades altas y bajas de siembra, encontraron que a medida que se reduce la densidad, mejora la sincronía floral y el número de mazorcas por planta tiende a aumentar.

Torres (1992) trabajando con densidades de población en el cultivo de maíz, encontró que a altas densidades, la interacción del genotipo con el ambiente hace que el fenotipo así como las heredabilidades cambien en algo sus magnitudes, así mismo reporta que a densidades bajas, las plantas presentan mejor calidad, mayor rendimiento, y se incrementa el ancho y espesor del grano, así como el número de hileras y peso de la mazorca.

Tosquy y Castañón (1998) establecieron un experimento con la finalidad de estudiar el efecto de la fertilización mineral al suelo y densidad de población en seis líneas progenitoras de híbridos. Al hacer la evaluación, el incrementar la densidad de plantas provocaría un decremento de la calidad física y fisiológica de la semilla, el cual fue contrarrestado con la dosis alta de fósforo y potasio.

Por su parte Ruiz y Covas (2004), realizaron un estudio para determinar el efecto del momento de fertilización nitrogenada y los distanciamientos entre hilera sobre la producción y calidad de semilla de *Bromus auleticus* Trin. ex Nees (Cebadilla chaqueña), realizando tres tratamientos de fertilización: a) 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno aplicados en primavera, b) 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno aplicados en forma dividida otoño/primavera y c) testigo, sin fertilizar. Los distanciamientos entre hileras fueron de 0.20 y 0.40 m. Concluyeron que la fertilización con nitrógeno incrementa la producción de semilla, pero con respecto de la calidad de la semilla, en general no fue modificada por las prácticas de manejo implementadas en este ensayo.

Martínez *et al.* (2005) evaluaron el efecto de dos dosis de fertilización (200-100-00 y 160-60-00, kg ha<sup>-1</sup>) y dos densidades de población (83,000 y 62,000 plantas/hectárea) sobre el rendimiento y la calidad de semilla híbrida producida

por cuatro líneas androestériles y cuatro androfértiles isogénicas de maíz. Se evaluó el rendimiento de mazorca y de semilla, los componentes del rendimiento y la calidad de la semilla mediante la prueba de germinación estándar. Todas las variables de rendimiento y sus componentes presentaron diferencias estadísticas entre híbridos y entre las versiones androestériles y androfértiles de híbridos. El rendimiento y la calidad física de la semilla híbrida formada con líneas androestériles fueron superiores a la obtenida con líneas androfértiles obtenidas por desespigamiento, aunque cabe señalar que la germinación de la semilla no se modificó por efecto de los tratamientos.

Es así como los suelos fértiles deben ser preferidos para la producción de semilla, pues con su uso no solamente se obtienen los mayores rendimientos, sino también semillas de mejor calidad (Córdova *et al.*, 1992).

### **Calidad de la semilla**

Al tratar de definir el concepto de calidad en semillas, se podría decir que es un conjunto de cualidades deseables que debe poseer, que le permitan un buen establecimiento en campo con plantas vigorosas, sanas y representativas de la variedad en referencia. La calidad en semillas comprende atributos: la germinación, el vigor, la sanidad y la pureza física y varietal (Quirós y Carrillo, 2004). Para una mejor comprensión, la calidad en semillas puede entenderse como la integración de cuatro componentes: el genético, el físico, el fisiológico y el fitosanitario (Besnier, 1989; Moreno, 1996).

Por su parte Douglas (1982), menciona que la calidad de la semilla es importante, ya que es esencial para la supervivencia de la humanidad y en ella se resguarda el más alto potencial genético que los científicos pudieran llegar a desarrollar. La semilla no solamente es algo que los agricultores siembran, sino

que es también la portadora del potencial genético que permite obtener una mayor producción.

Córdova *et al.* (1992) consideran que el control de calidad de las semillas es uno de los elementos esenciales para la producción de las mismas, ya que esta repercutirá en el incremento y desarrollo de una mejor obtención de alimentos. Por ello, para incrementar la producción es esencial contar con semilla de calidad, con todos los atributos físicos, biológicos, sanitarios y genéticos (Basra, 1995) que aseguren un rápido y uniforme establecimiento del cultivo y que permitan desarrollar el máximo potencial de rendimiento en diversas condiciones de campo (Dornbos, 1995).

En este sentido, existe poca información relacionada con el aspecto de calidad de semilla, no obstante, se ha estudiado más desde el punto de vista fisiológico y de sanidad (Mendoza *et al.*, 2004).

### **Convergencia de la calidad de la semilla**

Investigaciones en el desarrollo y maduración de la semilla revelan que existe una gran controversia en cuanto a cuando ocurre o se tiene la máxima calidad de la semilla, por un lado mencionan que esta ocurre cuando se presenta la etapa final del llenado de la semilla, es decir, en la etapa de madurez fisiológica en soya y trigo (Rasyad *et al.*, 1990); otros autores como Ellis *et al.* (1993) en semilla de arroz y en el cultivo del frijol. Sanhewe y Ellis (1996) concluyen que la máxima calidad en estos cultivos se encuentra cuando existe la máxima acumulación de materia seca.

Considerando lo anterior, varios autores coinciden en que el mejor momento de cosecha es cuando las semillas alcanzan la madurez fisiológica (Harrington, 1972; Popinigis, 1975; Knittle y Burris, 1976); esto es, cuando se alcanza el

máximo contenido de materia seca (máxima cantidad de reservas nutritivas) y el embrión ha completado su desarrollo (Delouche, 1964; Harrington, 1972; Copeland, 1976 y Vilela, 1983) y es el momento en que la calidad fisiológica es máxima, presentando su más alto nivel de vigor y potencial germinativo (Carvalho y Nakagawa, 1988).

### **Calidad Fisiológica**

Moreno (1996) considera a la calidad fisiológica como un valor comercial de la semilla, ya que es el principal atributo para evaluar calidad, que consiste en la capacidad de la semilla para germinar y producir una planta normal.

La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad. Los principales indicadores de la calidad fisiológica son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en la producción y del manejo de poscosecha (Perry, 1972; Perry, 1983; Moreno *et al.*, 1988), además, la calidad de la semilla depende del clima en que se desarrolló el cultivo (Delouche, 1980).

Por otra parte, la expresión de la calidad fisiológica de las semillas de diversas especies depende fundamentalmente de su tamaño. Se ha observado que el desarrollo inicial está gobernado por la cantidad de reservas, tamaño del embrión, cantidad de proteína y eficiencia de los sistemas enzimáticos que le confieren mayor velocidad de crecimiento (Chan y Moreno, 1992).

Delouche (1986) menciona que además de los factores fisiológicos, patológicos y ambientales, los factores genéticos determinan la calidad fisiológica de la semilla, su capacidad para germinar, emerger rápidamente y producir plantas

vigorosas uniformes bajo condiciones de campo durante el desarrollo del cultivo.

### **Prueba de germinación y definición de vigor**

Perry (1983) menciona que la prueba de germinación estándar, permite evaluar la calidad fisiológica de la semilla. La prueba de germinación es el procedimiento más ampliamente usado y aceptado como indicador de la calidad de un lote de semillas. Sin embargo, debido a que esta prueba se realiza bajo condiciones óptimas para cada especie, en la práctica, la prueba de germinación ha mostrado sobreestimar el comportamiento de las semillas y, además, resulta deficiente para discriminar lotes de semilla en relación con la rapidez y uniformidad de germinación (McDonald, 1980; Moreno, 1996; Copeland y McDonald, 2001).

El vigor de la semilla, referido a la suma de todas las propiedades físicas y fisiológicas, y en particular la elongación de las estructuras como el mesocótilo y coleóptilo, juegan un papel importante para emerger y desarrollarse en una plántula normal (Delouche y Baskin, 1973).

Según el ISTA (2004), el vigor de una semilla es la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y desempeño de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de plántulas. Las semillas que se desempeñen bien son catalogadas como de alto vigor y aquellas que se desempeñen en forma pobre son llamadas de bajo vigor.

Por su parte la AOSA (1983), definió el vigor como “aquellas propiedades de las semillas que determinan su potencial para una emergencia rápida y uniforme, y para el desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de campo”.

Perry (1981) indicó que el porcentaje de germinación al primer conteo y la velocidad de emergencia, ya sea en campo o en invernadero, son importantes para evaluar el vigor de las plántulas, de la misma forma, Perry (1983) señala que el vigor puede ser alterado por la constitución genética, el desarrollo y nutrición de la planta y por el tipo de progenitores tanto masculino como femenino. Por su parte Sánchez (2009), al evaluar los atributos de la calidad fisiológica de dos poblaciones generadas a partir de la población criolla mejorada "JAGUAN" (Hembras y Machos) encontró que la población Macho superó a la población Hembra en las variables de vigor, peso seco de plúmula y radícula, al igual que en longitud media de plúmula y radícula.

Hernández *et al.* (2000) mencionan que las variables de mayor importancia para predecir un buen establecimiento en campo son el peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz y la velocidad de emergencia.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se analizó la calidad fisiológica de la semilla de maíz criollo mejorado "JAGUAN" obtenida bajo diferentes estrategias, estableciendo un lote de producción, definiendo tres niveles de fertilización y tres densidades de población.

#### **Material genético**

**Población criolla mejorada:** Se desarrolló a partir de una población criolla adaptada al ejido Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coahuila; la cual fue cruzada con una población mejorada. Actualmente se encuentra en el tercer ciclo de selección de mejoramiento.

La semilla se produjo en el ciclo Primavera-Verano 2008, en la localidad "El Mezquite" perteneciente al municipio de Galeana, estado de Nuevo León, ubicado a 24° 49' de Latitud Norte y a los 100° 05' de Longitud Oeste, a una altitud de 1890 msnm; predominando los suelos sedimentarios del periodo jurásico, la precipitación media anual es de 429.8 mm y la temperatura media anual es 15.8 °C.

Se realizaron prácticas culturales de barbecho, rastra y surcado. El terreno fue dividido en tres parcelas grandes en las cuales se distribuyeron las dosis de fertilización A (0-0-0), B (60-60-60) y C (120-60-60). La población establecida para cada caso de fertilización fue la siguiente, a (40,000), b (50,000) y c (60,000) plantas por hectárea, en un lote de producción de semilla en donde se definieron progenitores hembra y macho (en una relación 4:2). La siembra fue

realizada cuando el terreno estaba a capacidad de campo; el número y las láminas de riego posteriores variaron en función de las condiciones climáticas que se fueron dando. La eliminación de malezas se realizó al momento de la siembra con aplicación de herbicida comercial Primagram Gold y durante el desarrollo del cultivo de forma manual. Para la cosecha se tomaron al azar de 6 a 9 mazorcas en campo por unidad experimental, que fueran representativas y que garantizaran al momento de ser desgranadas en promedio un kilogramo, se colocaron en bolsas de papel de estraza y para su traslado se colocaron en arpillas de plástico. Para su secado, se dejaron en el asoleadero de la bodega de cereales ubicada en instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), hasta que alcanzaron una humedad promedio de 14 %. La semilla seca y desgranada fue colocada en bolsas de plástico y almacenada en refrigeración, de cada bolsa fue tomada la semilla al azar para realizar los estudios del presente trabajo de investigación.

### **Estudio I: Capacidad de germinación de la población criolla “JAGUAN”.**

La evaluación de la germinación de la semilla derivada de los tratamientos antes mencionados (niveles de fertilización y densidades de siembra), se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Se evaluó por separado la semilla obtenida de los progenitores hembra y macho.

## **Prueba de germinación**

1. El porcentaje de germinación: Se determinó mediante la prueba estándar (ISTA, 2004), con algunas modificaciones, en la cual se sembraron tres repeticiones de 25 semillas de maíz en papel secante humedecido, se enrollaron en forma de tacos, se identificaron y se colocaron en bolsas de plástico en la cámara de germinación a la temperatura deseada.
2. Primer conteo de germinación: Se consideró como un indicador de vigor, se tomaron en cuenta las plántulas normales al cuarto día después de la siembra.
3. Desarrollo y evaluación de las plántulas: A diez plántulas normales se les midió la longitud de radícula y plúmula en centímetros, esta prueba es considerada indicativo de vigor (Perry, 1972).
4. Peso seco de la plántula: Las diez plántulas utilizadas con anterioridad fueron empleadas para determinar peso seco. Se depositaron las plántulas en bolsas de papel de estraza perforadas, se introdujeron a una estufa a 70 °C por 24 horas. El peso seco se reportó en miligramos por plántula.

## **Estudio II: Determinación del índice de velocidad de emergencia (IVE) en invernadero.**

La siembra se realizó en una cama de 11 m de largo por 0.96 m de ancho, como sustrato se empleó arena de río. Se sembraron tres repeticiones de 25 semillas, a una profundidad uniforme de 3 cm, con humedad a capacidad de campo. El estudio se llevó a cabo bajo condiciones controladas de temperatura a 25 °C ± 2 °C, con riego manual cada tercer día y para evitar la incidencia de

patógenos se hizo una aplicación previa a las semillas y al sustrato con los fungicidas Captán y Tecto. Se evaluó por separado la semilla obtenida de los progenitores hembra y macho.

1. Índice de velocidad de emergencia (IVE): Se contaron diariamente las plántulas que emergieron de 5 a 6 mm sobre la superficie del suelo (sustrato). Para determinar el IVE se empleó la fórmula propuesta por Maguire (1962):

$$I. V. E. = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Número de plántulas normales al conteo } i - \text{ésimo}}{\text{Número de días de la siembra al conteo } i - \text{ésimo}}$$

2. Emergencia total (ET): La determinación del por ciento de emergencia se realizó tomando en cuenta el número total de plántulas normales emergidas en el último conteo, empleando la siguiente fórmula y expresado en porcentaje:

$$\% E = \frac{\text{Plántulas emergidas en el último conteo}}{\text{No. de semillas sembradas}} * 100$$

3. Desarrollo y evaluación de las plántulas: A diez plántulas normales se les midió la longitud de radícula y plúmula en centímetros, esta prueba podría ser considerada como un pronóstico del establecimiento en campo.
4. Peso seco de la plántula: Se tomaron todas las plántulas normales de cada repetición, se depositaron las plántulas en bolsas de papel de estraza perforadas para determinar el peso seco, se introdujeron a una estufa con una temperatura de 70 °C por 24 horas. El peso seco se reportó en miligramos por plántula.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques con arreglo  $\alpha$ -látice. La dimensión del experimento constó de 54 surcos que se dividieron en tres parcelas grandes para la distribución de los tratamientos de fertilización (A, B y C), quedando 18 surcos para cada uno. Cada parcela grande fue subdividida en tres partes iguales para el establecimiento de las densidades (a, b y c), quedando para cada densidad seis surcos. La distancia entre surcos fue de 0.92 metros y cada surco se dividió a lo largo en 4 partes de 10 metros cada una para establecer las repeticiones.

## Diseño en campo

Esta sección determina los tratamientos de donde fue obtenida la semilla para el análisis de la calidad fisiológica.

Es decir, ensayo en campo: 3 niveles de fertilización X 3 densidades de población X 4 repeticiones X 2 progenitores = 72 unidades experimentales.

Los tratamientos a los cuales fue sometida la población criolla mejorada "JAGUAN" en campo, fueron los siguientes y quedando como lo indica la figura 3.1.

### FACTOR A

#### I. Fertilización

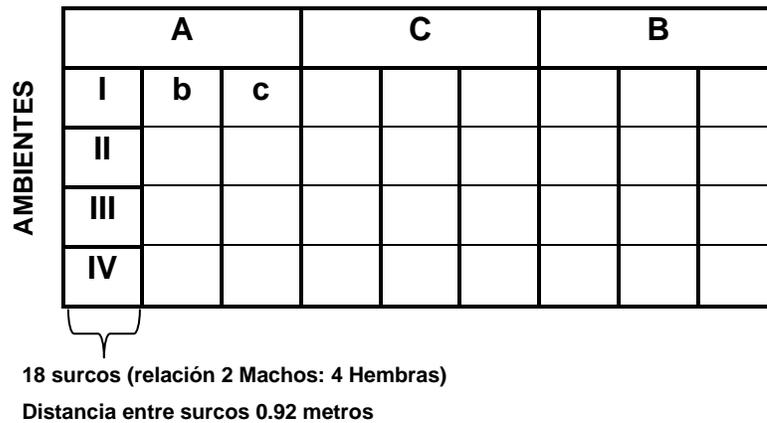
- A. Sin fertilización
- B. 60-60-60 (Presiembra, triple 17)
- C. 60-60-60 (Presiembra, triple 17)  
60-0-0(cultivo, Urea)

### FACTOR B

#### II. Densidad (Plantas por hectárea)

- a) 40 000
- b) 50 000
- c) 60 000

Figura 3.1. Distribución de tratamientos en campo del lote de producción de semillas



El análisis de la información se realizó con el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijklm} = \mu + r_i + b_{j(i)} + B_k + F_l + D_m + FD_{lm} + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde:

$Y_{ijklm}$  = Respuesta de la unidad experimental;  $\mu$  = Media general;  
 $r_i$  = Efecto de la i-ésimo bloque;  $b_{j(i)}$  = Efecto del j-ésimo bloque incompleto dentro de la i-ésimo bloque;  $B_k$  = Efecto del k-ésimo ambiente;  $F_l$  = Efecto de la l-ésima dosis de fertilización;  $D_m$  = Efecto de la m-ésima densidad de población;  $FD_{lm}$  = Efecto de la l-ésima dosis por la m-ésima densidad;  $\varepsilon_{ijklm}$  = Error experimental.

Para efectos de distribución usada en campo (donde provino la semilla), se considera a la fuente de variación ambiente, como las repeticiones de cada tratamiento.

Los datos de las variables evaluadas se procesaron con el paquete estadístico Statical Applied System. SAS Institute Inc. (SAS 2004). Obteniendo así, los análisis de varianza y las comparaciones de medias por medio de la prueba de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ).

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos con el uso de maíces criollos mejorados, han sido satisfactorios al generar variedades que combinan la adaptación específica con los caracteres deseados por los pequeños productores y sus familias, aunque cabe mencionar que a la fecha se sabe poco sobre investigaciones en las cuales estos materiales sean sometidos a tratamientos simultáneos de densidades de población y niveles de fertilización, que pudieran permitir al investigador evaluar el efecto de la calidad fisiológica de la semilla producida bajo este sistema.

Es importante mencionar que en este trabajo de investigación las actividades desarrolladas durante la producción, cosecha y postcosecha de la semilla del lote experimental, fueron efectuadas a tiempo (cuando se requerían), así también, se usó la misma población para el establecimiento de ambos progenitores; aspectos generales que pueden ser útiles en el transcurso de la discusión.

En este apartado se presentan los resultados y la interpretación de los dos estudios: Estudio I: Capacidad de germinación de la población criolla "JAGUAN"; Estudio II: Determinación del Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) en invernadero.

### Estudio I: Capacidad de germinación de la población criolla “JAGUAN”

Se realizó el análisis de varianza (Cuadro 4.1), para probar si existen diferencias de los tratamientos a los cuales fue sometida la semilla en campo, en las variables evaluadas durante la prueba de germinación para el caso del progenitor macho. Se encontraron diferencias estadísticas entre repeticiones y bloques dentro de repeticiones ( $P \leq 0.01$ ), el valor de los cuadrados medios indica, que dependiendo del lugar donde se localicen las muestras dentro de la cámara de germinación y la repetición se obtendrá diferente número de plántulas normales o anormales. La respuesta a los niveles de fertilización mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) para la variable de estudio germinación y significativas ( $P \leq 0.05$ ) para las variables longitud media de plúmula y peso seco de plántula, lo que indica que una buena capacidad germinativa se ve reflejada en un buen desarrollo de plúmula y un mayor peso seco, este último efecto se manifiesta de igual manera en la fuente de variación ambiente. Lo anterior indica, que por lo menos uno de los tratamientos de fertilización produjo resultados, en los cuales la media difiere de forma estadística al resto de las demás.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor macho.

| <b>FV</b>                             | <b>GL</b> | <b>V<br/>(%)</b> | <b>GERM<br/>(%)</b> | <b>PAN<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|---------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>Repeticiones</b>                   | 2         | 612.20**         | 10.72               | 12.42              | 67.77**             | 22.55**             | 558.13**               |
| <b>Bloques/<br/>Repeticiones</b>      | 15        | 142.89           | 70.35**             | 60.87**            | 1.97**              | 2.25                | 54.68                  |
| <b>Ambientes</b>                      | 3         | 80.69            | 17.55               | 15.34              | 1.05                | 0.65                | 156.85*                |
| <b>Fertilización</b>                  | 2         | 96.62            | 121.14**            | 103.28             | 1.78*               | 0.94                | 186.96*                |
| <b>Densidades</b>                     | 2         | 149.55           | 23.45               | 24.30              | 2.41                | 0.40                | 6.76                   |
| <b>Fertilización X<br/>densidades</b> | 4         | 45.39            | 32.33               | 37.13              | 0.87                | 2.99                | 14.06                  |
| <b>Error</b>                          | 79        | 88.47            | 19.46               | 20.52              | 0.57                | 1.84                | 53.98                  |
| <b>C.V. (%)</b>                       |           | 11.74            | 4.78                | 59.09              | 5.20                | 6.79                | 13.66                  |

\*, \*\* Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; V= Vigor; GERM= Germinación; PAN= Plántulas Anormales; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

En el Cuadro 4.2 se observa que aunque no existe diferencias significativas, para la variable vigor (V), la dosis de fertilización 120-60-60 (C), superó numéricamente con 2.89 % al testigo 00-00-00 (A) y con 1.78 % a la fertilización 60-60-60 (B), lo que muestra que aunque mínimo, existe un comportamiento diferente de la variable como respuesta a los niveles de nutrición aplicados en campo. Se ha considerado el primer conteo (cuarto día) como un indicativo de vigor confiable (ISTA, 2004).

Cuadro 4.2. Comparación de medias de los niveles de fertilización para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor macho.

| <b>FERT</b>      | <b>V<br/>(%)</b> | <b>GERM<br/>(%)</b> | <b>PAN<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>00-00-00</b>  | 78.77            | 90.66 b             | 9.11               | 14.26 b             | 20.16               | 51.63 b                |
| <b>60-60-60</b>  | 79.88            | 92.88 ab            | 7.11               | 14.74 a             | 19.99               | 53.61 ab               |
| <b>120-60-60</b> | 81.66            | 93.22 a             | 6.77               | 14.60 ab            | 19.82               | 56.23 a                |

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha=0.05$ ); V= Vigor; GERM= Germinación; PAN= Plántulas Anormales; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

Las diferencias estadísticas para la variable germinación (GERM) en las diferentes dosis de fertilización, indican que el desarrollo del embrión y demás estructuras esenciales se llevó a cabo a una tasa diferente de división y llenado de células; no obstante todas mostraron valores superiores al 90 %. Serrato (1995) menciona que una alta germinación está asociada con un alto vigor, aunque no siempre las semillas con alta germinación tienen alto vigor. Por otra parte, los valores obtenidos en la variable plántulas anormales (PAN) estadísticamente son semejantes y en general menores al 10 %.

En la variable longitud media de plúmula (LMP), el nivel de fertilización 60-60-60 (B) superó con 0.14 cm a la fertilización 120-60-60 (C) y con 0.48 cm a la dosis de fertilización 00-00-00 (A), lo que pudiera revelar que las concentraciones de proteínas, grasas y vitaminas en el embrión y reservas en el endospermo (Bergvinson *et al.*, 2007), permitieron un diferente desarrollo de la plúmula bajo condiciones de laboratorio. Cabe mencionar, que desde principios

y mediados del siglo pasado se ha reconocido la importancia de la elongación del mesocótilo y coleóptilo del maíz en el establecimiento en campo (Collins, 1914; Martín *et al.*, 1935; Allan *et al.*, 1962), dicha elongación es importante para que las hojas no se desdoblen bajo la superficie del suelo (Tillman *et al.*, 1994). Lo cual permitiría una buena emergencia y por ende un buen establecimiento en campo.

Las medias por niveles de fertilización para la variable longitud media de radícula (LMR), muestran que el efecto en campo derivado de los niveles de fertilización, no modificó la emergencia y elongación de la radícula durante la prueba de germinación en laboratorio. Cuando una semilla germina, la primera estructura que emerge en la mayoría de las especies, después de la rehidratación de los diferentes tejidos, es la radícula (cambio morfológico visible), esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria (Derek and Black, 1984; Azcon-Bieto y Talon, 1993; García, 2008), cambios que no se vieron alterados producto de los diferentes tratamientos.

Para la variable peso seco de plántula (PSP), el nivel de fertilización 120-60-60 (C) superó con una diferencia de 2.62 mg/pl el nivel de fertilización 60-60-60 (B) y con 4.6 mg/pl el nivel de fertilización 00-00-00 (A). Lo que indica que la fertilización en campo afecta la cantidad de materia seca. Knittle y Burris (1976) mencionan que esta característica es la más confiable para predecir el vigor de las plántulas y su futuro establecimiento en campo.

En el Cuadro 4.3 se observa que al germinar la semilla producida por plantas sembradas en diferentes densidades, no presenta diferencias para las variables en estudio (V, GERM, PAN, LMP, LMR y PSP). Esto pudiera atribuírsele a la constitución genética del material evaluado, mismo que responde de forma similar a las condiciones de temperatura y humedad, que se crean como resultado de los microambientes al variar el número de plantas por hectárea.

Cuadro 4.3. Medias de los niveles de densidad para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor macho.

| <b>DENS<br/>(miles)</b> | <b>V<br/>(%)</b> | <b>GERM<br/>(%)</b> | <b>PAN<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|-------------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>40</b>               | 77.44            | 92.00               | 8.00               | 14.64               | 19.82               | 53.99                  |
| <b>50</b>               | 80.77            | 92.33               | 7.44               | 14.34               | 20.14               | 53.55                  |
| <b>60</b>               | 82.11            | 92.44               | 7.55               | 14.63               | 20.01               | 53.94                  |

V= Vigor; GERM= Germinación; Plántulas Anormales; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

Para que la recuperación de la actividad biológica por parte de la semilla tenga lugar, es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables como son: un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y, una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula (Derek and Black, 1984; García, 2008) todo lo anterior se aporta en los ensayos de germinación, permitiendo a la semilla expresar su vigor y capacidad germinativa. Por su parte, Ducar (1970) comenta que las condiciones del laboratorio son casi las ideales y que el porcentaje de germinación alcanzado en la prueba suele ser superior al esperado en condiciones de campo.

Los resultados indican que el modificar las densidades de población en campo, no afectó la captación de luz solar, la disponibilidad de nutrientes y agua durante la formación y desarrollo de la semilla. Se esperaba que existiera un efecto de los tratamientos de campo en laboratorio, lo cual no fue así. Martínez *et al.* (2005) evaluaron el efecto de dos dosis de fertilización y dos densidades de población de plantas por hectárea, el rendimiento y la calidad física de la semilla híbrida formada con líneas androestériles fueron superiores a la

obtenida con líneas androfértiles generadas por desespigamiento, aunque cabe señalar que la germinación de la semilla no se modificó por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 4.4 se observa el efecto causado por las repeticiones y los bloques dentro de repeticiones para la prueba de germinación estándar. El valor de los cuadrados medios indica, que dependiendo del lugar donde se localicen las muestras dentro de la cámara de germinación y la repetición a la que corresponda, afecta la expresión de la germinación de la semilla del progenitor hembra, obteniendo diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) en longitud media de plúmula (LMP) y peso seco (PSP), y presentando diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el número de plántulas anormales (PAN), sin alterar significativamente el vigor (V) y la longitud media de radícula (LMR). El efecto de los diferentes niveles de fertilización aplicados en campo se manifestaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en la variable vigor (V), aunque, al evaluar la interacción de la fertilización por las densidades de siembra, indica que por lo menos el efecto de la interacción permite al material tener buen vigor (V), buena germinación (GERM) y un excelente peso seco, no obstante el número de plántulas anormales es a considerar estadísticamente significativo ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 4.4. Cuadrados medios del análisis de varianza para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra.

| <b>FV</b>                         | <b>GL</b> | <b>V</b><br><b>(%)</b> | <b>GERM</b><br><b>(%)</b> | <b>PAN</b><br><b>(%)</b> | <b>LMP</b><br><b>(cm)</b> | <b>LMR</b><br><b>(cm)</b> | <b>PSP</b><br><b>(mg/pl)</b> |
|-----------------------------------|-----------|------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Repeticiones</b>               | 2         | 183.91                 | 25.61                     | 28.73                    | 89.32**                   | 5.41                      | 265.42**                     |
| <b>Bloques/repeticiones</b>       | 15        | 170.61                 | 51.14*                    | 48.16*                   | 2.47**                    | 1.92                      | 71.85*                       |
| <b>Ambientes</b>                  | 3         | 88.20                  | 22.86                     | 22.69                    | 1.38                      | 0.49                      | 105.57*                      |
| <b>Fertilización</b>              | 2         | 271.05*                | 31.75                     | 40.91                    | 0.40                      | 3.13                      | 15.20                        |
| <b>Densidades</b>                 | 2         | 25.47                  | 3.74                      | 6.27                     | 0.48                      | 3.50                      | 41.93                        |
| <b>Fertilización X densidades</b> | 4         | 341.30*                | 81.90*                    | 84.98*                   | 1.08                      | 1.30                      | 134.93**                     |
| <b>Error</b>                      | 79        | 113.56                 | 24.35                     | 25.38                    | 1.00                      | 2.58                      | 35.79                        |
| <b>C.V. (%)</b>                   |           | 13.62                  | 5.33                      | 67.67                    | 6.98                      | 7.99                      | 11.08                        |

\*, \*\* Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; V= Vigor; GERM= Germinación; PAN= Plántulas Anormales; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

En el Cuadro 4.5, en la variable vigor (V), la dosis de fertilización 00-00-00 (A), superó con 3.33 % a la fertilización 120-60-60 (C) y con un 6.33 % a la fertilización 60-60-60 (B), lo cual indica que para este caso en particular el no aplicar fertilización en campo incrementa el vigor de la semilla obtenida del progenitor hembra no existiendo un patrón lógico de respuesta, lo cual pudo haber sido influido también por el muestreo en la cosecha. De acuerdo a varios autores, esta característica puede ser alterada por la nutrición de la planta, su constitución genética, el desarrollo en campo y manejo en almacén (Perry, 1983; McDonald, 1998).

Cuadro 4.5. Comparación de medias de los niveles de fertilización para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra.

| <b>FERT</b>      | <b>V<br/>(%)</b> | <b>GERM<br/>(%)</b> | <b>PAN<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>00-00-00</b>  | 81.44 a          | 93.00               | 7.00               | 14.32               | 19.97               | 54.31                  |
| <b>60-60-60</b>  | 75.11 b          | 91.00               | 9.00               | 14.29               | 20.48               | 53.80                  |
| <b>120-60-60</b> | 78.11 ab         | 93.33               | 6.33               | 14.36               | 19.89               | 53.85                  |

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha=0.05$ ); V= Vigor; GERM= Germinación; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

El resto de las variables de estudio GERM, PAN, LMP, LMR y PSP, no mostraron una respuesta ante los diferentes niveles de fertilización en campo, teniendo un comportamiento estadísticamente semejante al evaluar la prueba de germinación.

Los resultados obtenidos en este estudio, muestran que las semillas derivadas de plantas hembra de la población criolla mejorada "JAGUAN", responden de forma similar a la asimilación de nutrientes, en la mayoría de las variables evaluadas, sin embargo a nivel de su metabolismo, se presentan diferencias, expresándose a través del vigor de la semilla. Cabe mencionar que en campo, la planta respondió favorablemente ante el estrés provocado por el desespigamiento.

Martínez *et al.* (2005) evaluaron el efecto de dos dosis de fertilización (200-100-00 y 160-60-00, kg ha<sup>-1</sup>) y dos densidades de población (83,000 y 62,000 plantas/hectárea) sobre el rendimiento y la calidad de semilla híbrida producida por cuatro líneas androestériles y cuatro androfértiles isogénicas de maíz. El rendimiento y la calidad física de la semilla híbrida formada con líneas androestériles fueron superiores a la obtenida con líneas androfértiles obtenidas por desespigamiento, aunque cabe señalar que la germinación de la semilla no se modificó por efecto de los tratamientos; situación que se asemeja a los resultados producto de la presente investigación (Cuadro 4.4 y 4.5).

En el Cuadro 4.6 se observa que no se presentó efecto de las densidades de siembra sobre las variables de estudio: V, GERM, PAN, LMP, LMR y PSP, al no presentarse diferencias estadísticas; el incrementar la densidad de plantas no provocó un efecto negativo en la calidad fisiológica de la semilla, lo cual pudiera atribuirse también a que los requerimientos mínimos de nutrientes por la planta fueron satisfechos para que la semilla almacenara las reservas necesarias, mismas que le permitieran un buen desarrollo al ser germinadas.

Cuadro 4.6. Medias de los niveles de densidad para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra.

| <b>DENS<br/>(miles)</b> | <b>V<br/>(%)</b> | <b>GERM<br/>(%)</b> | <b>PAN<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|-------------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>40</b>               | 78.11            | 93.00               | 6.88               | 14.13               | 19.72               | 52.25                  |
| <b>50</b>               | 78.88            | 92.00               | 8.00               | 14.49               | 20.22               | 54.22                  |
| <b>60</b>               | 77.66            | 92.33               | 7.44               | 14.34               | 20.41               | 55.48                  |

V= Vigor; GERM= Germinación; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

Los resultados a través de densidades de siembra fueron muy semejantes, lo que indica una respuesta similar. El incremento de plantas por hectárea, no se reflejó en una reducción en el vigor de la semilla producida, lo cual es interesante, ya que por tratarse de una variedad criolla, posiblemente sus requerimientos para producir semilla de calidad, sean mínimos.

Aunque de forma individual no se presentaron diferencias estadísticas en la mayoría de las variables evaluadas en las fuentes de variación dosis de fertilización y densidad de siembra, en la interacción de ambas se encontró diferencias significativas (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7. Comparación de medias en base a la interacción fertilización por densidades para los atributos de calidad fisiológica de la población usada como progenitor hembra.

| <b>FERT</b>      | <b>DENS<br/>(miles)</b> | <b>V<br/>(%)</b> | <b>GERM<br/>(%)</b> | <b>PAN<br/>(%)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|------------------|-------------------------|------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| <b>00-00-00</b>  | <b>40</b>               | 79.3 ab          | 92.6 abc            | 7.3 a              | 54.7 ab                |
| <b>00-00-00</b>  | <b>50</b>               | 89.0 a           | 96.3 ab             | 3.6 ab             | 56.2 ab                |
| <b>00-00-00</b>  | <b>60</b>               | 76.0 ab          | 90.0 bc             | 10.0 a             | 51.9 ab                |
| <b>60-60-60</b>  | <b>40</b>               | 71.6 b           | 89.6 c              | 10.3 a             | 49.3 b                 |
| <b>60-60-60</b>  | <b>50</b>               | 75.6 ab          | 90.0 bc             | 10.0 a             | 52.4 ab                |
| <b>60-60-60</b>  | <b>60</b>               | 78.0 ab          | 93.3 abc            | 6.6 ab             | 59.6 a                 |
| <b>120-60-60</b> | <b>40</b>               | 83.3 ab          | 96.6 a              | 3.0 b              | 52.6 ab                |
| <b>120-60-60</b> | <b>50</b>               | 72.0 b           | 89.6 c              | 10.3 a             | 53.9 ab                |
| <b>120-60-60</b> | <b>60</b>               | 79.0 ab          | 93.7 ab             | 5.6 ab             | 54.9 ab                |

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha=0.05$ ); A= 0-0-0; B= 60-60-60; C= 120-60-60; V= Vigor; GERM= Germinación; PAN= Plántulas Anormales; PSP= Peso Seco de Plántula.

Para la variable vigor (V), la mejor respuesta se obtuvo en el tratamiento sin la aplicación de fertilización (00-00-00) y a una densidad de 50 mil plantas por hectárea con 89 %, sin embargo únicamente mostró ser diferente de los tratamientos donde se aplicó una dosis de 60-60-60 y con 40 mil plantas  $ha^{-1}$  y 120-60-60 con 50 mil plantas  $ha^{-1}$ , ya que obtuvieron 71.6 y 72.0 %, respectivamente. En contraste, la variable germinación (GERM), presentó mayor número de plántulas normales con la dosis de fertilización 120-60-60 y a una densidad de siembra de plantas  $ha^{-1}$ . Por otra parte, los tratamientos que mostraron menor vigor (V), también obtuvieron menor por ciento de plántulas normales (89.6 %) en el ensayo de germinación.

El menor número de plántulas anormales se obtuvo en la interacción de la dosis de fertilización 120-60-60 con una densidad de 40 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , aunque cabe señalar que los demás valores son aceptables ya que no superan el 10 % de plántulas anormales.

Para la producción de plántulas con mayor peso seco (PSP), la interacción 60-60-60 con 60 mil plantas por hectárea, superó estadísticamente con 10.3 mg/plántula a la interacción 60-60-60 con 40 mil plantas, los demás valores comparten ambos grupos estadísticos.

Los valores obtenidos indican que la interacción entre dosis de fertilización y las densidades de población, afectan la expresión del vigor y por ende la calidad fisiológica de la semilla. Tosquy y Castañón (1998) al evaluar el efecto de la interacción densidad por dosis de potasio para la variable porcentaje de germinación, encontraron que el efecto depresivo de la densidad de plantas al pasar a su nivel más alto fue muy drástico cuando no se aplicó potasio, mientras que cuando se adicionó éste, se logró un ligero incremento aún utilizando 62,500 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ; situación que difiere de la presentada por Martínez *et al.* (2005) quienes manifiestan que no hubo diferencias estadísticas para dosis de fertilización y densidades de población, ni para la mayoría de las interacciones.

## Estudio II: Determinación del índice de velocidad de emergencia (IVE) en invernadero.

Los cuadrados medios del análisis de varianza para el ensayo del índice de velocidad de emergencia para el progenitor macho (Cuadro 4.8), muestran una diferencia significativa ( $P \leq 0.01$ ) en la fuentes de variación repeticiones para la variable longitud media de plúmula (LMP) y para la fuente de variación bloques dentro de repeticiones en la variable índice de velocidad de emergencia (IVE), lo que indica que, la ubicación en invernadero, influye en las expresión de las variables en estudio. El resto de las variables no mostraron diferencias significativas, lo cual indica que las condiciones de invernadero favorecieron la expresión del potencial de la semilla, permitiendo que tuviera un comportamiento semejante al emerger, no importando los tratamientos de origen a los que fue sometida la población criolla mejorada “JAGUAN” en campo.

Cuadro 4.8. Cuadrados medios del análisis de varianza para el índice de velocidad de emergencia de la población usada como progenitor macho.

| <b>FV</b>                         | <b>GL</b> | <b>IVE</b> | <b>ET<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|-----------------------------------|-----------|------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>Repeticiones</b>               | 2         | 0.15       | 6.68              | 22.66**             | 2.85                | 43.97                  |
| <b>Bloques/repeticiones</b>       | 15        | 0.34**     | 11.64             | 1.67                | 1.57                | 46.34                  |
| <b>Ambientes</b>                  | 3         | 0.10       | 14.74             | 1.51                | 1.95                | 66.60                  |
| <b>Fertilización</b>              | 2         | 0.01       | 13.62             | 2.61                | 3.05                | 65.95                  |
| <b>Densidades</b>                 | 2         | 0.07       | 10.40             | 0.71                | 2.11                | 62.03                  |
| <b>Fertilización X densidades</b> | 4         | 0.07       | 2.20              | 1.69                | 0.92                | 31.79                  |
| <b>Error</b>                      | 79        | 0.13       | 9.32              | 1.53                | 1.43                | 40.46                  |
| <b>C.V. (%)</b>                   |           | 5.80       | 3.14              | 6.10                | 6.34                | 10.53                  |

\*, \*\* Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; IVE= Índice de Velocidad de Emergencia; ET= Emergencia Total; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

En los Cuadros 4.9 y 4.10, se observa que estadísticamente no existen diferencias entre los niveles de fertilización y las densidades de siembra con

respecto a las variables de estudio IVE, ET, LMP, LMR y PSP. La población criolla mejorada “JAGUAN”, al satisfacer la necesidad mínima de nutrición en campo y al llegar el fruto a la madurez fisiológica, logró almacenar las sustancias de reserva necesarias que le brindaron alimento al embrión y con ello se dio en general un óptimo desarrollo de todas las estructuras esenciales.

Cuadro 4.9. Medias de los niveles de fertilización de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor macho.

| <b>FERT</b>      | <b>IVE</b> | <b>ET<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>00-00-00</b>  | 6.23       | 97.44             | 20.06               | 18.53               | 58.68                  |
| <b>60-60-60</b>  | 6.28       | 96.44             | 20.46               | 19.03               | 60.76                  |
| <b>120-60-60</b> | 6.30       | 97.44             | 20.32               | 18.94               | 61.68                  |

IVE= Índice de Velocidad de Emergencia; ET= Emergencia Total; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

Cuadro 4.10. Medias de los niveles de densidad de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor macho.

| <b>DENS<br/>(miles)</b> | <b>IVE</b> | <b>ET<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|-------------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>40</b>               | 6.24       | 96.88             | 20.37               | 19.13               | 60.31                  |
| <b>50</b>               | 6.23       | 96.88             | 20.12               | 18.66               | 59.63                  |
| <b>60</b>               | 6.33       | 97.55             | 20.35               | 18.71               | 61.18                  |

IVE= Índice de Velocidad de Emergencia; ET= Emergencia Total; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

El excedente de nutrientes producto de los diferentes tratamientos posiblemente quedó disponible para el uso de otras funciones en la planta. Cabe mencionar, que el efecto por las densidades de siembra no influyó en la calidad fisiológica de la semilla.

El establecimiento de la plántula en el campo involucra los procesos de germinación y emergencia; donde el primero comprende la imbibición, reactivación metabólica y la emisión de la radícula, procesos que pueden

comprometer el establecimiento si ocurren en condiciones adversas (Albuquerque y Carvalho, 2003), situación que fue controlada durante la prueba y que hace suponer que las condiciones en invernadero favorecen el potencial germinativo de la población criolla mejorada "JAGUAN".

Perry (1981) indicó que la velocidad de emergencia, ya sea en campo o en invernadero, son importantes para evaluar el vigor de las plántulas, de la misma forma, Perry (1983) señala que el vigor puede ser alterado por la constitución genética, el desarrollo y nutrición de la planta y por el tipo de progenitores tanto masculino como femenino. Situación que no se vio afectada en el presente trabajo de investigación.

Por otra parte, la expresión de la calidad fisiológica de las semillas de diversas especies depende fundamentalmente de su tamaño. Se ha observado que el desarrollo inicial está gobernado por la cantidad de reservas, tamaño del embrión, cantidad de proteína y eficiencia de los sistemas enzimáticos que le confieren mayor velocidad de crecimiento (Chan y Moreno, 1992), características que no alteraron los resultados de esta investigación ya que no se emplearon semillas de un mismo tamaño y nos hace suponer que el embrión, independientemente del tratamiento en campo, utilizó las reservas y energía para su desarrollo.

Los cuadrados medios del análisis de varianza para el ensayo del índice de velocidad de emergencia para el progenitor hembra (Cuadro 4.11), indican que la competencia en la cama de arena y el acomodo establecido en ella, propició que las plántulas presentaran diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) en las variables índice de velocidad (IVE), emergencia total (ET), longitud media de plúmula (LMP) y radícula (LMR), sin alterar su peso seco (PSP). Las diferencias ( $P \leq 0.05$ ), en la fuente de variación densidades para la variable índice de velocidad de emergencia (IVE) y peso seco de plántula (PSP), indican que el efecto causado por las densidades de siembra en la semilla en estudio altera la velocidad de emergencia dando como resultado plántulas con diferentes pesos

secos. La fuente de variación dosis de fertilización por densidades presenta diferencias ( $P \leq 0.05$ ) para la variable peso seco de plántula (PSP), los resultados indican que la interacción afecta la producción de materia seca, que está relacionada con las reservas en la semilla y con la capacidad de fijar  $\text{CO}_2$  por la plántula en crecimiento. El resto de las variables no mostraron diferencias significativas, por lo que se considera tuvieron un comportamiento estadísticamente semejante.

Cuadro 4.11. Cuadrados medios del análisis de varianza para el índice de velocidad de emergencia de la población usada como progenitor hembra.

| <b>FV</b>                         | <b>GL</b> | <b>IVE</b> | <b>ET</b><br><b>(%)</b> | <b>LMP</b><br><b>(cm)</b> | <b>LMR</b><br><b>(cm)</b> | <b>PSP</b><br><b>(mg/pl)</b> |
|-----------------------------------|-----------|------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Repeticiones</b>               | 2         | 0.03       | 22.49*                  | 5.39**                    | 1.03                      | 51.90                        |
| <b>Bloques/repeticiones</b>       | 15        | 0.62**     | 18.99**                 | 3.61**                    | 2.54**                    | 20.32                        |
| <b>Ambientes</b>                  | 3         | 0.02       | 0.66                    | 1.04                      | 2.45                      | 39.81                        |
| <b>Fertilización</b>              | 2         | 0.42       | 1.75                    | 0.35                      | 0.78                      | 17.13                        |
| <b>Densidades</b>                 | 2         | 0.40*      | 4.64                    | 0.53                      | 0.56                      | 93.37*                       |
| <b>Fertilización X densidades</b> | 4         | 0.19       | 10.99                   | 1.20                      | 0.79                      | 67.94*                       |
| <b>Error</b>                      | 79        | 0.11       | 6.80                    | 0.90                      | 1.04                      | 23.62                        |
| <b>C.V. (%)</b>                   |           | 5.35       | 2.66                    | 4.61                      | 5.39                      | 8.06                         |

\*, \*\* Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; IVE= Índice de Velocidad de Emergencia; ET= Emergencia Total; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

En el Cuadro 4.12, se observa que las variables en estudio dependientes de los niveles de fertilización, no mostraron un efecto que pudiera hacer la diferenciación de grupos estadísticos en las variables IVE, ET, LMP, LMR, PSP.

Cuadro 4.12. Medias de los niveles de fertilización de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor hembra.

| <b>FERT</b>      | <b>IVE</b> | <b>ET</b><br><b>(%)</b> | <b>LMP</b><br><b>(cm)</b> | <b>LMR</b><br><b>(cm)</b> | <b>PSP</b><br><b>(mg/pl)</b> |
|------------------|------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>00-00-00</b>  | 6.47       | 97.88                   | 20.54                     | 19.13                     | 60.41                        |
| <b>60-60-60</b>  | 6.37       | 98.00                   | 20.56                     | 18.90                     | 59.63                        |
| <b>120-60-60</b> | 6.39       | 97.55                   | 20.58                     | 18.93                     | 60.85                        |

IVE= Índice de Velocidad de Emergencia; ET= Emergencia Total; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

El efecto provocado por el desespigue, no alteró la calidad fisiológica de la semilla; Saldaña *et al.* (2000) compararon dos métodos de desespigue (mecánico y manual) para un híbrido triple de maíz y encontraron que la defoliación para este material genético + 5 hojas, no afectaba la germinación y vigor de la semilla, por lo que era confiable aplicar cualquiera de los dos métodos sin provocar daños en la calidad.

Posterior a la imbibición, la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas; aunado a ello, las condiciones del medio como: el nivel de humedad, las características y composición del sustrato, la temperatura, etc. (Pérez y Martínez, 1994; García, 2008) pueden ser determinantes para el buen desarrollo de la plántula.

Cisse y Ejeta (2003) mencionan que la prueba de velocidad de emergencia es de las mejores para relacionar el vigor de la semilla con el establecimiento en campo; Popinigis (1977) plantea que semillas con mayor velocidad y potencial de germinación, son precisamente las de mayor vigor.

Esto hace inferir que la semilla con la que se trabajó en la presente investigación a pesar de haber sido sometida a diferentes niveles de nutrición y de densidades de siembra; respondió satisfactoriamente a las condiciones de invernadero y por tal motivo presenta excelentes niveles de viabilidad al mostrar valores por encima del 95 % en lo que se refiere a la emergencia total (ET) y alto vigor con valores superiores a seis.

En el Cuadro 4.13, se observa que las densidades de siembra tuvieron un efecto en la variable IVE, lo cual indica que la prueba en cama de arena en invernadero, proporciona un ambiente natural para la germinación de la semilla y esta podría ser una muy buena metodología para inferir acerca del comportamiento de las plántulas en campo (Kulik and Yaklich, 1982), aunado a ello, se sabe que la alternancia de las temperaturas entre el día-noche actúan

positivamente sobre las etapas de la germinación. Por lo que el óptimo térmico de la fase de germinación y el de la fase de crecimiento no tienen por qué coincidir. Así, unas temperaturas estimularían la fase de germinación y otras la fase de crecimiento (Pérez y Martínez, 1994; García, 2008). Situaciones que se reflejan en los resultados para esta variable.

Cuadro 4.13. Comparación de Medias de los niveles de densidad de las variables evaluadas en invernadero para la población usada como progenitor hembra.

| <b>DENS<br/>(miles)</b> | <b>IVE</b> | <b>ET<br/>(%)</b> | <b>LMP<br/>(cm)</b> | <b>LMR<br/>(cm)</b> | <b>PSP<br/>(mg/pl)</b> |
|-------------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>40</b>               | 6.50 a     | 98.11             | 20.59               | 18.90               | 58.41 b                |
| <b>50</b>               | 6.44 ab    | 97.88             | 20.58               | 19.16               | 61.50 a                |
| <b>60</b>               | 6.29 b     | 97.44             | 20.52               | 18.90               | 60.98 ab               |

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha=0.05$ ); IVE= Índice de Velocidad de Emergencia; ET= Emergencia Total; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PSP= Peso Seco de Plántula.

A pesar de lo anterior las variables ET, LMP y LMR, no mostraron diferencias estadísticas, la similitud en cuanto a los resultados pudiera darnos un panorama del vigor que presenta la semilla de la población criolla mejorada “JAGUAN” en general. Cabe mencionar, que cuando la semilla alcanza el máximo contenido de materia seca (máxima cantidad de reservas nutritivas) y el embrión ha completado su desarrollo (Delouche, 1964; Harrington, 1972; Copeland, 1976 y Vilela, 1983), es el momento en que la calidad fisiológica es máxima, presentando su más alto nivel de vigor y potencial germinativo (Carvalho y Nakagawa, 1988).

Para la variable peso seco de plántula (PSP), la densidad de población 50,000 plantas/ha, superó con una diferencia de 0.52 mg/pl a la densidad 60,000 plantas/ha y con 3.09 mg/pl a la densidad 40,000 plantas/ha. Lo que indica que las densidades de población en campo influyeron sobre la variable de estudio de diferente manera. Hernández *et al.* (2000) mencionan que las variables de mayor importancia para predecir el establecimiento en campo son el peso seco

de la parte aérea, peso seco de la raíz y la velocidad de emergencia, en lo que se refiere a la calidad fisiológica.

Cabe mencionar, que las diferencias en IVE y PSP indican diferencias en vigor, sin embargo se observó que mayor vigor no implica mayor peso seco de plántula.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, indican que modificar el sistema de siembra en la variedad JAGUAN, no afecta la calidad fisiológica de la semilla, no importando el progenitor, la densidad y niveles de fertilización aplicados, lo que pudiera ser útil para el productor de semilla a futuro, ya que no tendrá que destruir al progenitor macho como se acostumbra en cualquier empresa productora de semillas, ni utilizara grandes cantidades de fertilizante y con ello su rendimiento se verá incrementado al preservar la densidad de siembra hasta su cosecha, cabe señalar, que existen particularidades para cada progenitor y estudio realizado.

- Existen diferencias en la calidad fisiológica de la semilla en la población criolla mejorada “JAGUAN” utilizada como progenitor macho, esto como respuesta a la dosis de fertilización 120-60-60, en donde se presentó el mayor porcentaje de germinación y vigor expresado como peso seco de plántula.
- En la población criolla mejorada “JAGUAN” utilizada como progenitor hembra, el efecto de la dosis de fertilización 00-00-00 se expresó con un mayor vigor durante el primer conteo (cuarto día) no existiendo un patrón lógico de respuesta a la fertilización, lo cual pudo haber sido influido también por el muestreo en la cosecha, sin alterar significativamente la expresión de otras variables relacionadas con el proceso de germinación.
- En invernadero la población hembra, presentó una mayor expresión de vigor a través del índice de velocidad de emergencia con 6.50 para la densidad 40,000 plantas por hectárea; el mayor peso seco se obtuvo en la densidad 50,000 plantas por hectárea con 61.50 mg/plántula.

## VI. LITERATURA CITADA

**Albuquerque, M. C. and N. M. Carvalho. 2003.** Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower *Helianthus annuus* L., soybean *Glycine max* L. Merrill and maize *Zea mays* L. seeds with different levels of vigor. *Seed Sci. Technol.* 31(2):465-479.

**Aldaco, R. A., J. M. Cepeda., M. C. Vega. 1989.** Influencia de la fertilización fosfatada en las características agronómicas y los componentes de rendimiento del híbrido AN-430R de maíz (*Zea mays* L.) en suelos calcáreos. *In: memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* México, D.F. p. 250.

**Allan, R. E., O. A. Vogel and C. J. Peterson. 1962.** Seedling emergence rates of fall-sown wheat and its association with plant height and coleoptile length. *Agron. J.* 54(4):347-350.

**Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983.** Seed vigor testing handbook. Contribution N° 32. Association of Official Seed Analysts. 93 p.

**Azcon-Bieto, J. y M. Talon. 1993.** Fisiología y Bioquímica Vegetal. Interamericana-McGraw-Hill. Madrid. 581 p.

**Basra, A. S. 1995.** Seed Quality: Basic mechanisms and agricultural implications. Food products Press. New York, U.S.A. 389 p.

- Bergvinson, D.J., A. Ramírez, D. Flores Velásquez y S. García-Lara. 2007.** *Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos*. México, D.F. CIMMYT. 18 p.
- Besnier, R. F. 1989.** *Semillas: Biología y Tecnología*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España. 63 p.
- Carvalho, N. M. y J. Nakagawa. 1988.** *Semillas: Ciencia, tecnología y producción*. Editorial Hemisferio Sur. 1ª Edición. Montevideo, Uruguay. pp. 188-191.
- Casanova, E. 2000.** *La fertilización y nutrición mineral del maíz en Venezuela*. En: *El Maíz en Venezuela*. Compilado por H. Fontana y C. González. Fundación Polar, Venezuela. pp. 275-294.
- Castañeda, Z. 2006.** *Una visión sobre la importancia de la diversidad del maíz en México*. Documento en línea: [http://www.sjsocial.org/crt/articulos/762castaneda.htm#\\_ftn2](http://www.sjsocial.org/crt/articulos/762castaneda.htm#_ftn2). Fecha de consulta: 20 de mayo de 2008.
- Chan N., M. E. y J. M. Moreno. 1992.** *Influencia del tamaño de la semilla sobre la calidad fisiológica de la simiente de sorgo*. *In: Avances de investigación 1991*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. p. 6.
- Cisse, N. and G. Ejetla. 2003.** *Genetic variation and relationship among seedling vigor traits in sorghum*. *Crop Sci.* 43 (3): 824-828.
- Collins, G. N. 1914.** *A drought resisting adaptation in seedling of Hopi maize*. *J. Agric. Res.* 1:293-302.

- Copeland, L. O. 1976.** Principles of seed science and technology. U.S.A. Burgess Publishing company. Michigan State University. Minnesota, USA. 369 p.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonlad. 2001.** Principles of seed science and technology. 4th ed. Kluwer Academic Publishers, EUA. 467 pp.
- Córdova, H., J. L. Quemé y P. Rosado. 1992.** Producción artesanal de semilla de maíz para el pequeño agricultor en Guatemala. 2ª ed. Ciudad de Guatemala. 27 p.
- Delouche, J. C. 1964.** Seed maturation. Seed technology laboratory. Mississippi State University, prepared for International Training. Mississippi. U.S.A.
- Delouche, J. C. and C. C. Baskin. 1973.** Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Sci. Technol. 1:427-452.
- Delouche, J. C. 1980.** Environmental effect on seed development and seed quality. Hortscience 15: 775-780.
- Delouche, J. C. 1986.** Physiological seed quality. Short course for seedsmen. Mississippi State University. Vol. 27:51-59.
- Derek Bewly, J. and M. Black. 1984.** Seed, physiology of development and germination. Plenum Press, New York. 367 p.
- Dornbos, L. D. 1995.** Seed vigor. In: Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications. A. S. Barsa (ed). Food Products Press. New York, U.S.A. 389 p.

- Douglas, J. E. 1982.** Programa de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Serie CIAT. 82. Cali, Colombia. pp. 1, 123-163.
- Ducar, M. P. 1970.** Producción de semillas pratenses. Manuales de técnica agropecuaria. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 142 p.
- Ellis, R. H., U. R. Sinniah and P. John. 1993.** Irrigation and seed quality development in rapid-cycling Brassica. *In*: M. Black, K.J. Bradford, J. Vazquez-Ramos (eds). Seed biology: Advances and applications. pp.113-121.
- García, B., F. 2008.** Botánica. Universidad Politécnica de Valencia. Documento en línea: [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_17.htm#Tipos%20de%20Germinación](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_17.htm#Tipos%20de%20Germinación). Fecha de actualización: 23 de Enero de 2008.
- García, F. 2005.** Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Memoria de la reunión de trabajo organizada por capacitación agropecuaria. Córdoba, Argentina. 19 p.
- Gordon, R. I., J. Camargo y A. González. 1993.** Respuesta de dos cultivares de maíz a la densidad. Síntesis de resultados experimentales de PRM. 1993-1995. CIMMYT-PRM. México, D.F. pp. 101-105.
- Harrington, J. F. 1972.** Seed storage and longevity *In*: Kozlowski T.T. editor. Seed Biology USA. Volume III. Academic Press. New York. pp. 145-245.
- Hernández, C., J. M. 1999.** La diversidad del maíz mexicano y su conservación. *In*: 2do. Taller Nacional de Especialidades de Maíz. Dr. Mario E. Castro Gil. Del 9 al 10 de Septiembre de 1999. U.A.A.A.N. (ed). Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-15.

**Hernández, G. A., A. Carballo C., A. Hernández L. y F. V. Gonzáles C. 2000.** Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición de vigor en semillas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 23: 239-250.

**International Seed Testing Association (ISTA). 2004.** International rules for seed testing. Ed. 2004. Bassersdorf, CH-Switzerland. 700 p.

**Kafkafi, U. 1990.** The functions of plant  $K^+$  in overcoming environmental stress situations. In: Proc. 22nd colloquium of IPI. Soligorsk, USSR. pp. 81-93,

**Kafkafi, U. 1997.** Impact of potassium in relieving plants from climatic and soil induced stresses. In: Food security in the WANA region, the essential need for balanced fertilization, A.E. Johnston (ed.), IPI, Bern. pp. 313-327.

**Knittle, K. H. and J. S. Burris. 1976.** Effect of kernel maturation on subsequent seedling vigor in maize. *Crop Sci*: 16 (1): 851-855.

**Kulik, M. M. and R. W. Yaklich. 1982.** Evaluation of vigor tests in soybean seeds: Relationship of accelerated aging, cold, sand bench and speed of germination tests to field performance. *Crop Sci*. 22, 766-770.

**Maathuis, F., J. M. and D. Sanders. 1994.** Mechanism of high affinity potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 9272 -9276.

**Maguire, J. D. 1962.** Speed of germination-AID in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci*. 2, 176-177.

- Marcano, F. 2000.** Agronomía del cultivo: experiencias sobre sistemas de labranza en suelos maiceros de Venezuela. En: El Maíz en Venezuela. Compilado por H. Fontana y C. González. Fundación Polar, Venezuela.
- Marschner, H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. Academic Press, San Diego, New York. pp. 229-299.
- Martin, J. H., J. W. Taylor and R. W. Leukel. 1935.** Effect of soil temperature and depth of planting on the emergence and development of sorghum seedlings in the greenhouse. J. Am. Soc. Agron. 27:660-665.
- Martín, J. H., W. H. Leonard and A. L. Stamp. 1976.** Principles of field crop production. 3rd Ed. McMillan Publishing. New York. USA. pp. 29-65
- Martínez, L.C., L. E. Mendoza O., G. García de los S., M. 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 y densidad de población. Revista Fitotecnia Mexicana. 28 (2): 127-133.
- McDonald, M. B. 1980.** Assessment of seed quality. HortScience 15: 784- 788.
- McDonald, M. B. 1998.** Seed quality assessment. Seed Science and Technology 8: 265-275.
- Mendoza, E. M., L. Latournerie., E. Moreno., G. Castañón., J. C. Carrillo., C. De León y J. G. García. 2004.** Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. Agronomía Mesoamericana 15(2): 155-160.
- Moreno, M.E. 1996.** Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3ª edición. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 393 p.

- Moreno, M. E., M. E. Vázquez., A. Rivera., R. Navarrete y F. Esquivel. 1988.** Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mais* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. Technol.* 26: 439-448.
- Perales, R. H., S. B. Brush and C. O. Qualset. 2003.** Landraces of maize in Central Mexico: an altitudinal transect. *Econ Bot.* 57:7–20.
- Perales, R. H., F. B. Bruce and B. B. Stephen. 2005.** Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. En línea:  
<http://www.cefe.cnrs.fr/coev/pdf/CoursEthno/3-Article%202.pdf>. Fecha de consulta: 1 de Octubre de 2009.
- Pérez García, F. y J. B. Martínez-Laborde. 1994.** Introducción a la Fisiología Vegetal. Editorial Mundiprensa, Madrid. 218 p.
- Perry, D. A. 1972.** Seed vigour and field establishment. *Hort. Abstr.* 42: 334-342.
- Perry, D. A. 1981.** Seedling growth and seedling evaluation tests. *In:* Perry, D. A. (ed.). *Handbook of Vigour Test Methods*. ISTA. Zurich, Switzerland. pp. 10-20.
- Perry, D.A. 1983.** El concepto de vigor de la semilla y su relevancia en las técnicas de producción de semillas. F. Stanham (Trad.). Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. pp. 693-701.
- Petrovich, I.P. and I.V. Prokofeva. 1996.** Influence of climatic factors on the formation of the reproductive organs of lucerne. *England. Seed Abstracts* 19(3): 123.

**Popinigis, F. 1975.** Qualidade fisiologica em sementes. Brasilia. Agiplan: 1 (1): 65-80.

**Popinigis, F. 1977.** Fisiología de la semilla. Brasilia. 2ª Ed. 289 p.

**Programa de Estudios del Cambio Económico y de la Sustentabilidad del Agro Mexicano (PRECESAM). 2008.** La biodiversidad genética del maíz en México. En línea:

En línea:

<http://precesam.colmex.mx/Folletines/Folletin%20No.%203.htm>.

Fecha de consulta: 23 de Marzo de 2008.

**Quirós, O. W. y A. O. Carrillo. 2004.** La importancia del insumo de semilla de buena calidad. Oficina Nacional de semillas. Publicación informativa Costa Rica. 7 p.

**Rasyad, A., D. A. Van Sanford and D. M. Tekrony. 1990.** Changes in seed viability and vigour during wheat seed maturation. *Seed Science and Technology* 18:259-267.

**Rodríguez, P. 2000.** Distribución geográfica y producción nacional: Aspectos climatológicos relacionados con la producción comercial del maíz. En: *El Maíz en Venezuela*. Compilado por H. Fontana y C. González. Fundación Polar, Venezuela.

**Ruiz, M. de los A. y G. F. Covas. 2004.** Producción de semilla de *Bromus auleticus* Trin. ex Nees. Momento de fertilización y distanciamiento entre hileras. INTA Argentina. *RIA*, 33 (1): 49-60. ISSN 0325-8718.

**Saldaña Z., R., M. E. Vázquez B., M. Estrella M., V. M. Zamora V. y M. C. Vega S. 2000.** Desespigue manual y mecánico en la calidad de semilla de un híbrido triple de maíz (*Zea mays* L.). Nota Científica. Memoria del

XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. 15 al 20 de Octubre. Irapuato. Guanajuato, México. 205 p.

**Sánchez P., B. E. 2009.** Caracterización física y fisiológica de poblaciones criollas de maíz bajo dos sistemas de producción. Tesis de Maestría en Tecnología de Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 57 p.

**Sánchez, J. J., M. M. Goodman y C. W. Stuber. 2000.** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*. Vol. 54 (1). The New York Botanical Garden Press, NY. United States. pp. 43-59

**Sanhewe, A. J. and R. H. Ellis. 1996.** Seed development and maturation in *Phaseolus vulgaris* II Post-harvest longevity in air dry storage. *Journal of Experimental Botany* 47:959-965.

**Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2002.** Sistema de Información Agropecuaria de Consulta, 1980-2001. 55 p.

**Secretaría de la Reforma Agraria (SRA). 2009.** Manual del participante. Producción de maíz. Documento en línea:  
[http://www.sra.gob.mx/internet/informacion\\_general/programas/fondo\\_tier\\_ras/manuales/Producci\\_n\\_Ma\\_z.pdf](http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tier_ras/manuales/Producci_n_Ma_z.pdf). Fecha de consulta: 8 de Septiembre de 2009.

**Serrato C., V. M. 1995.** Manual de procedimientos de control de calidad en el campo, en la producción de semillas de maíz. Consultoría en tecnología de semillas. Vol. II. San Salvador, El Salvador, Centro América. 6 p.

**Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. 2007.** Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. México D.F. pp. 26-33.

**Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. 2010.** Cierre de la producción agrícola por cultivo 2008. Documento en línea:  
[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350). Fecha de consulta: 11 de Mayo de 2010.

**Soleri, D., D. Cleveland and F. Aragón C. 2006.** Transgenic crops and crop varietal diversity: The case of maize in Mexico. *BioScience*, June, Vol. 56 (6). pp. 503-513.

**Statistical Applied System. SAS Institute Inc. 2004.** SAS/STAT 9.1 User's Guide Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.

**Tillman, M. A., Z. Piana and C. Cavariani. 1994.** Effects of sowing depth on tomato seedling emergence. *Sientia Agricola* 51:260-263.

**Torres, L.A. 1992.** Estudio del efecto de tres densidades de población en diferentes descriptores varietales de maíz (*Zea mays* L.) Tesis de Maestría en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 45-60.

**Tosquy, H. y G. Castañón. 1998.** Respuesta de fertilización y densidad de siembra en líneas de maíz. Nota técnica. Presentada en la XLIII reunión del PCCMCA, Panamá 1997. *Agronomía Mesoamericana* 9(2): 113-118.

**Vilela, A. R. 1983.** Epocas de colheita, producao e qualidade de sementes de capim gordura. *Rev. Bras. Sem.* 5 (2) 9-22.