

EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS DE CALIDAD EN POBLACIONES DE MAÍZ CRIOLLO CULTIVADO EN AMBIENTES DIFERENTES

SILVIA PÉREZ CORTÉS

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”

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIRECCIÓN DE POSGRADO

**EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS DE CALIDAD EN POBLACIONES DE MAÍZ
CRIOLLO CULTIVADO EN AMBIENTES DIFERENTES**

TESIS

POR:

SILVIA PÉREZ CORTÉS

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal: _____
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor: _____
Dr. Froylán Rincón Sánchez

Asesor: _____
M. C. Cecilia Burciaga Dávila

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

A mi “Alma Terra Mater”, la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por haberme recibido en su seno y darme la oportunidad de superarme al permitirme mi estancia en la universidad, por forjar mi carrera y formarme profesionalmente.

Al **Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas**, por compartirme sus conocimientos durante mi estancia en la maestría.

A la **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres**, por brindarme su amistad y su confianza, por aceptarme como tesista y permitirme colaborar en esta investigación, y sobre todo por el apoyo en la conducción del presente trabajo.

Al **Dr. Froylán Rincón Sánchez**, por darme la oportunidad de participar en esta investigación y su apoyo en la realización de esta tesis.

A la **M. C. Cecilia Burciaga Dávila**, por participar en este trabajo y por la revisión del mismo.

A la **T. Q. Magdalena Olvera Esquivel**, por su apoyo en la realización de este trabajo y por su amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por el apoyo y la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

Se agradece el apoyo al **SINAREFI**, a la **SAGARPA** y al **SNICS** por el apoyo para la realización del trabajo de investigación, a través del proyecto **BI-MZ-09-ac**.

DEDICATORIA

A **Díos**, por haberme dado la vida y la oportunidad de realizar mis sueños, por permitirme estar al lado de las personas que más quiero y amo, por darme la fortaleza en las circunstancias difíciles, por iluminar mi vida cada día, por darme las más grandes alegrías y enseñarme a no dejarme vencer ante las adversidades. Por enseñarme su infinita bondad, su amor y su sabiduría, gracias padre Díos.

A mi esposo: **Fabío Morales Núñez**, por estar a mi lado y apoyarme en las alegrías y tristezas, por ser mi compañero de la vida, por darme un aliento de esperanza en los momentos difíciles, por aceptarme como soy y creer en mí, además de permitirme crecer profesionalmente. Gracias por tu cariño y amor. Te amo mi amor.

A mi hijo: **Ángel Emmanuel Morales Pérez**, por ser la luz que ilumina mi vida, que con su sonrisa alegre mi corazón cada día, por darme el amor más puro e incondicional. Por ser el ángel que Díos mando para fortalecer mi vida, por enseñarme con sus actos y juegos el valor de la vida, Te amare siempre...

A mis padres: **Anastasia Cortes Viveros y Gonzalo Pérez Cruz**, por haberme dado al vida, por cuidarme y hacerme una mujer de bien, por todo el cariño y amor incondicional, por creer en mí y por todo el apoyo a lo largo de mi vida, Gracias por ser los mejores padres.

A mis hermanas **Juana e Isabel**, por su cariño y por apoyarme siempre en las distintas etapas de mi vida.

A mis suegros: **Matilde Núñez Trinidad y Ramón Morales Arce (†)**, por ser los padres del amor de mi vida, por aceptarme y recibirme en su casa, por hacerme parte de su familia y compartir gratos momentos.

A **Carlos E. Cruz y Angélica Ruiz**, por el apoyo brindado durante la maestría y por su cariño.

A mis compañeros; **Rosy, Julio, Layner, Enrique, Antonio, Pavel y Edith** por su cariño, por las experiencias vividas y por el apoyo brindado durante la estancia de la maestría.

COMPENDIO

EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS DE CALIDAD EN POBLACIONES DE MAÍZ CRIOLLO CULTIVADO EN AMBIENTES DIFERENTES

POR:

SILVIA PÉREZ CORTÉS

MAESTRÍA

TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA GRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE 2008.

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

Palabras clave: *Zea mays* L., Poblaciones criollas, Ambiente de producción, Calidad del grano, Calidad fisiológica.

Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron: caracterizar poblaciones de maíz criollo recolectadas e incrementadas en diferente ambiente de producción en base a atributos de calidad de grano, así como determinar el efecto del ambiente ante estos atributos. Las poblaciones de maíz criollo fueron recolectadas en la región Sureste del Estado de Coahuila, bajo condiciones de temporal. La semilla del material original fue incrementada en la estación experimental de la UAAAN en Tepalcingo, Morelos. La investigación se llevo

acabo en cuatro estudios: 1) Caracterización para atributos físicos (caracterización del grano y peso de mil semillas) y calidad del grano (índice de flotación), 2) Determinación del contenido de proteína, 3) Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla de ambas poblaciones mediante ensayos de germinación y vigor y 4) Estudio del índice de velocidad de emergencia en invernadero. Para el análisis de los resultados se utilizó un diseño completamente al azar. Los resultados de la caracterización para los atributos físicos y de calidad del grano mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre los ambientes de producción. En cuanto al peso de mil semillas las poblaciones recolectadas, presentaron valores más altos (278.675 g) superando en un 21.1 por ciento a las poblaciones incrementadas, siendo la C-029 la que tuvo un comportamiento más estable en ambos ambientes superando al media general. Con respecto al índice de flotación, las poblaciones incrementadas presentaron mayor número de granos flotantes (IF 73.35 %), clasificándose dentro de los maíces de grano suave, además obtuvieron mayor porcentaje de proteína (12.53 % como media general) que las poblaciones recolectadas, observado también que la población C-029 fue la de mayor valor con 14.04 por ciento. Respecto a la calidad fisiológica, poblaciones de los dos ambientes se comportaron de manera similar en germinación, reflejando diferencias mínimas en cuanto a vigor. En cuanto al índice de velocidad de emergencia, se encontró diferencias entre ambientes de producción en las variables peso fresco de plúmula (PFPL), peso fresco de radícula (PFRA) y peso seco de radícula

(PSRA); mostrando mejores resultados las poblaciones recolectadas, sin embargo, las poblaciones incrementadas obtuvieron la mayor acumulación de materia seca de la parte aérea. De acuerdo a los resultados, se observó que si existe efecto del ambiente de producción y del manejo agronómico sobre los atributos de calidad de semillas.

ABSTRACT

QUALITY ATTRIBUTES IN LANDRACE MAIZE POPULATIONS CULTIVATED
IN DIFFERENT ENVIRONMENTS.

BY
SILVIA PÉREZ CORTÉS

MASTER
GRAIN AND SEED TECHNOLOGY
ANTONIO NARRO AGRICULTURE AUTONOMOUS UNIVERSITY
BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA. DECEMBER 2008.

Dra. Norma A. Ruiz Torres - Asesor –

Key words: Zea mays L., landrace populations, production environment, grain quality, physiological quality.

The objectives of this research work were: To characterize twenty landrace maize populations recollected and increased in different production environments, based on quality attributes, as well as to determine the environment effect on them. The landrace maize populations were recollected in the southeast region of Coahuila, under rain fed conditions. Seed from the original populations was increased in the UAAAN experimental station at Tepalcingo, Mor. The experiment was established in four studies: 1). Characterization of physical seed attributes (seed characterization and one

thousand seed weight) and seed hardness (flotation index), 2). Determination of protein content, 3). Physiological seed quality of both populations through germination and vigor tests, and 4). Seed speed emergency index under greenhouse conditions. Data analysis was carried out in a completely randomized design. The characterization results for physical and quality attributes showed significant differences ($P \leq 0.01$) between production environments. In relation to one thousand seed weight variable, the recollected populations showed higher values (278.675 g), outstanding in 21.1 % to the incremented populations, being the C-029 the more stable in both environments with superior mean value. Regarding the flotation index, the incremented populations showed a larger number of floating seeds (IF 73.35 %), classifying them as soft endosperm corn, besides they showed higher protein content (12.53 %, general mean), than the recollected populations, once more the C-029 population had the best value with 14.04 %. Concerning the physiological seed quality, populations from both environments performed similar in germination, show minimal differences in vigor. With reference to the speed emergency index, significant differences were found between production environments for plumule fresh weight (PFPL), radicle fresh weight (PFRA) and for radicle dry weight, showing best results de recollected populations; however the incremented populations had higher accumulation of dry matter in the plumule. According to the results, there is environment and agronomic management effect on seed quality attributes.

CONTENIDO

	Pág.
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- REVISIÓN DE LITERATURA	4
Calidad de semilla	7
Calidad en grano	9
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	17
Material genético	17
Estudio I: Caracterización para atributos físicos y calidad del grano.....	19
Estudio II. Determinación de proteína.....	20
Estudio III: Prueba de germinación	21
Estudio IV: Índice de velocidad de emergencia	23
Análisis estadístico	25
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Estudio I. Caracterización para atributos físicos y calidad del grano.....	26
Estudio II. Determinación de Proteína	35
Estudio III: Prueba de germinación.....	39
Estudio IV. Índice de Velocidad de Emergencia	44
5.- CONCLUSIONES	50
6.- LITERATURA CITADA	52
ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 3. 1. Descripción del material genético.....	18
Cuadro 4. 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de atributos físicos y calidad de grano para las poblaciones de Saltillo, Coahuila y Tepalcingo, Morelos	30
Cuadro 4. 2. Comparación de medias de las poblaciones evaluadas para los atributos físicos y calidad de grano	31
Cuadro 4. 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para determinación de contenido de proteína del grano	35
Cuadro 4. 4. Comparación de medias de las poblaciones evaluadas para contenido de proteína del grano	36
Cuadro 4. 5. Comparación de medias por ambiente de las poblaciones evaluadas para índice de flotación, peso de mil semillas y proteína	38
Cuadro 4. 6. Cuadrados medios del análisis de varianza de los atributos fisiológicos evaluadas en laboratorio de las poblaciones de Saltillo (semilla original) y Tepalcingo (semilla incrementada).....	42
Cuadro 4. 7. Comparación de medias de los atributos fisiológicos evaluados en laboratorio de las poblaciones en estudio.....	43
Cuadro 4. 8. Cuadrados medios del análisis de varianza índice de velocidad de emergencia (IVE)	46
Cuadro 4. 9. Comparación de medias de las poblaciones evaluadas en la prueba para índice de velocidad de emergencia.....	47

Cuadro 4.10. Comparación de medias por ambiente de los atributos fisiológicos evaluados en el laboratorio e invernadero de las poblaciones en estudio49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 Esquema de la obtención de los materiales genéticos utilizados	17
Figura 4.1 Color del grano de maíz de las poblaciones recolectadas en Saltillo, Coahuila	32
Figura 4.2 Color del grano de las poblaciones incrementadas en Tepalcingo , Morelos.....	32
Figura 4.3 Forma del grano de maíz de las poblaciones recolectadas en Saltillo, Coahuila	33
Figura 4.4 Forma del grano de maíz de las poblaciones incrementadas en Tepalcingo, Morelos	34

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*), es el cultivo más importante de la agricultura mexicana, no sólo por la relevancia que en materia de alimentación representa para la población, sino por sus múltiples usos como materia prima en la industria, ya sea como insumo directo o los subproductos de éste.

En México, durante el periodo 1996-2006 se produjo un promedio anual de 19.3 millones de toneladas de maíz, que incluye maíz blanco, amarillo y otros, de las cuales cinco entidades de la República contribuyeron con el 55 %, por orden de importancia se encuentra: Jalisco con 15.4 %, Sinaloa con 14.4 %, Estado de México con el 9.9 %, Chiapas 9 % y Michoacán con el 6.5 % (SIAP, 2007).

Estas producciones, se obtienen en su mayoría de cultivos que utilizaron semilla criolla ya que estas variedades son cultivadas en aproximadamente el 85.5 % de la superficie nacional, con una producción de 12,403, 093 millones de toneladas del total, las cuales se adaptan a diferentes ambientes y alturas, presentando tolerancia a sequía, por lo que se producen en temporal (SIAP, 2007).

Es importante mencionar que la producción de maíz criollo por lo general se lleva a cabo sobre suelos de baja calidad agronómica. Quienes producen bajo estas condiciones son campesinos de escasos recursos con mínima o insuficiente asesoría técnica, que repercute en bajos rendimientos por hectárea, además de que su producción no tiene salida al mercado, por lo que se va haciendo un círculo vicioso de baja productividad, altos costos y nula ganancia.

El estado de Coahuila, no está exento de la problemática planteada anteriormente, por lo que el Programa de Recursos Fitogenéticos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha trabajado en los últimos años en mejorar algunas poblaciones de este cereal, con la idea de aumentar los rendimientos de grano así como estabilizar y uniformizar algunos materiales, con el propósito de que en un futuro estos materiales genéticos regresen a los propios productores. Asimismo es importante que la semilla proveniente de estos materiales sea caracterizada en base a atributos físicos, fisiológicos y de calidad de grano.

OBJETIVOS

- Caracterizar poblaciones de maíz criollo en base a atributos físicos, fisiológicos y de calidad de grano.
- Determinar el efecto del ambiente de producción en atributos físicos, fisiológicos y de calidad de grano.

HIPÓTESIS

- El conocimiento de las propiedades físicas, calidad fisiológica y calidad del grano ayudan al fitomejorador a seleccionar los materiales de acuerdo a los propósitos que persigue para el mejoramiento genético.
- Las poblaciones de maíz criollo cultivados en ambientes contrastantes contarán con diferentes niveles de calidad expresado en atributos físicos, fisiológicos y de calidad de grano.

REVISIÓN DE LITERATURA

El grano representa la más importante fuente de alimento del hombre; llega a tal grado su importancia que muchas naciones miden su riqueza de acuerdo al volumen de grano que poseen, y esto es síntoma a la vez de estabilidad económica. Entre los diferentes tipos de granos producidos en el mundo los cereales son los más importantes como fuente alimentaria del hombre (Flores, 2004).

México es el centro del origen y diversidad del maíz. Según la evidencia arqueológica, su cultivo en Mesoamérica es de aproximadamente 6.000 años. Entre la población nativa la planta de maíz representa el origen mismo de la vida. Las prácticas tradicionales de manejo de las semillas de maíz incluyen la utilización de semillas guardadas de la última cosecha u obtenidas de familiares o amigos. Esto contribuye a introducir nueva diversidad genética al sistema, proporcionando de esta manera rasgos que los agricultores consideran importantes como: rendimiento, facilidad de manejo y sabor (Hellin y Bellon, 2007).

La variabilidad genética del maíz se debe a los mismos mecanismos que operan en las poblaciones de los organismos en el proceso evolutivo, tanto de

manera espontánea como bajo domesticación. En gran medida la diversidad del maíz se puede también atribuir a la selección practicada por el hombre desde su domesticación, así como los numerosos nichos ecológicos y los efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones para determinar la adaptación de éstas (Caraballoso *et al.*, 2000).

No existe un acuerdo definitivo respecto al número de razas de maíz que existen en México, se han clasificado al menos 59 razas, con base a caracteres morfológicos y polimórficos de isoenzimas (Sánchez *et al.*, 2000).

El mejoramiento genético del maíz en México ha sido una de las líneas de investigación agrícola de mayor tradición, consistencia y dinamismo en los últimos cincuenta años; sin embargo, en la mayor parte de la superficie sembrada con maíz no se utilizan variedades genéticamente mejoradas (Guillén *et al.*, 2002). La obtención de variedades mejoradas prácticamente se ha dirigido a maíces híbridos, cuya potencialidad productiva es para áreas ambiental y económicamente privilegiadas (Márquez *et al.*, 2000).

La base genética del maíz, ha sido aplicada con los múltiples procesos de selección, adaptación y manejo; la variabilidad genética es el resultado de la interacción genotipo x ambiente físico y biótico en el proceso evolutivo y de la selección aplicada por los agricultores. Un factor determinante de la diversidad genética es el manejo de los cultivos en los diferentes agroecosistemas y

unidades de producción, en los que pueden variar las densidades de población, fechas de siembra, dosis, épocas de fertilización y riego, que interaccionan fuertemente con el genotipo (Turrent - Fernández *et al.*, 2005).

Los mismos autores enfatizan la necesidad de adquirir conocimientos básicos sobre el papel del genotipo y sus interacciones con los factores controlables (manejo) y no controlables (clima) de la producción.

Debido a su gran diversidad genética, los maíces no tienen la misma composición química, presentan diferencias en sus propiedades y en su utilización final. De acuerdo a la textura del grano se encuentran los siguientes tipos de maíz: maíz tunicado: es de valor como material genético y citogenético; maíz palomero: tiene importancia económica por el uso de confituras; maíz cristalino: utilizado en la alimentación humana y animal; maíz dentado: son de uso en la alimentación animal, para consumo humano en la fabricación de "tortilla" o para el proceso de la industria de harina de maíz; maíz harinoso: de uso en la alimentación humana y en los programas de mejoramiento; maíz dulce: como alimento para enlatados; maíz céreo: o ceroso: se utiliza en la elaboración de gomas, pegamentos y en alimentos con almidón (Reyes, 1990).

Calidad de semilla

La calidad en semillas es un conjunto de cualidades deseables que debe poseer la semilla, que permitan un buen establecimiento del cultivo con plantas vigorosas, sanas y representativas de la variedad. Para una mejor comprensión, la calidad en semillas puede entenderse como la integración de cuatro componentes: genéticos, físicos, fisiológicos y fitosanitarios.

Manjarrez (2006) menciona que la asociación entre caracteres agronómicos de campo e indicadores de calidad fisiológica de semillas en laboratorio y sus componentes genéticos son factores importantes para ampliar la caracterización del germoplasma en un programa de mejoramiento.

Molina *et al.* (1992), explica que la calidad fisiológica es un fenómeno dinámico y complejo, resultado del efecto de los factores genéticos, ambientales y la interacción de ambos a través del tiempo.

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

Así mismo, Flores (2004) dice que el componente genético es el resultado del trabajo del fitomejorador y le confiere un valor agronómico a la variedad que se expresa en mayor rendimiento, mayor resistencia a plagas y enfermedades, mayor uniformidad, mayor rango de adaptación y calidad específica en sus productos, entre otros.

En un principio, los parámetros utilizados para determinar la calidad consistía en medir el porcentaje de germinación, la pureza física y la sanidad de la semilla, pero esto solo mide la capacidad del material genético para producir plántulas normales bajo condiciones controladas de laboratorio; sin embargo, no era posible repetir estas evaluaciones confiablemente bajo condiciones de campo; por lo anterior se debe incluir un parámetro, conocido como “vigor de la semilla”, que permite medir la calidad de la semilla bajo esta última condición (Figuroa *et al.*, 1998).

La capacidad germinativa y el vigor son los principales atributos involucrados dentro del componente de calidad fisiológica en semillas. El concepto de vigor en semillas es un tanto complejo, sin embargo, en forma muy general se podría decir que, es el potencial biológico de la semilla que favorece un establecimiento rápido y uniforme bajo condiciones incluso desfavorables de campo. En tanto que germinación es la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la

capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Moreno, 1996).

El mismo autor considera que la calidad sanitaria se refiere a la presencia o ausencia de organismos causantes de enfermedades tales como hongos, bacterias, virus, insectos y se pueden considerar algunas condiciones fisiológicas, como deficiencias de microelementos.

El componente físico involucra diferentes características físicas que indican el grado de contaminación del lote, lo que refleja las condiciones de producción en campo y la eficiencia de la cosecha (Flores, 2004).

Calidad en grano

Hasta hace algunos años los programas de mejoramiento genético tenían como objetivo principal el rendimiento agronómico. La apertura comercial, la competencia de productores nacionales con agricultores extranjeros altamente tecnificados y las necesidades propias de la industria nacional, han propiciado un nuevo planteamiento en los programas que incluyan los aspectos de calidad industrial. Las características de calidad del grano son determinadas por factores genéticos, factores de producción y de manejo (Vázquez *et al.*, 2003).

Por su parte, Robutti (2004) considera que la calidad de uso del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano. Las diferencias en estructura y composición dependen del cultivar así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y poscosecha.

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características resultará del destino de la producción (Aguirrezábal y Andrade, 1998).

Se considera que los cereales constituyen la principal fuente calórico-proteína en la dieta de la población de la mayoría de los países en desarrollo y de esta fuente de proteínas el trigo aporta el 38.4 %, el maíz 22 %, y el arroz un 20.9 % (SIAP, 2007).

La composición química del maíz es variable y está relacionada con: estadio, raza, variedad, tecnología del cultivo y clima, parte de la planta o del grano que se analice, técnicas y métodos de análisis. En general el maíz tiene alto valor nutritivo como fuente de energía, por su contenido de carbohidratos, pero no posee las suficientes proteínas tanto en cantidad como en calidad, por ser incompleto en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano (Reyes, 1990).

El mismo autor indica que la composición en grano entero de maíz es la siguiente: almidón, 72.4 %; grasa (aceite), 4.7 %; proteína, 9.6 %; cenizas, 1.43 %; azúcares, 1.94 y fibra, 9.93 %.

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo (FAO, 1993).

La dureza del grano es la resistencia que posee a la acción mecánica o al quebrado durante la cosecha y la postcosecha. Esa resistencia, que determina la calidad que posee el grano para su uso y conservación, se relaciona en forma directa con la dureza del endospermo, que a su vez, se debe a la relación entre los endospermos córneo y harinoso, en menor medida, a la compactación de los componentes celulares, al grosor de la matriz proteica que rodea a los gránulos de almidón y al grosor del pericarpio. A mayor dureza del grano, mayor sea la proporción de endospermo córneo que lo componga (Aguirrezábal y Andrade, 1998.).

Sánchez *et al.* (2007) mencionan que la dureza del grano de maíz está determinada por la composición bioquímica del endospermo del grano (contenido relativo de zeínas y almidón) que es una característica heredable, pero modificable por las condiciones del ambiente y el manejo agronómico.

Narváez *et al.* (2007a) realizaron un estudio sobre las relaciones entre el tamaño del gránulo de almidón y sus propiedades térmicas y de pastificado en 71 razas puras de maíz provenientes de México, El Caribe, Centro y Sudamérica. Estos autores concluyen que los granos duros presentaron gránulos de almidón pequeños, mientras que en los granos suaves fueron grandes. Los gránulos grandes contienen altos niveles de humedad y amilosa aparente, pero bajos niveles de proteína. El tamaño del gránulo de almidón influye de gran manera en las propiedades térmicas y de pastificado de las harinas de maíz. Los gránulos grandes presentaron alta viscosidad pico y retrogradación, pero bajo tiempo y temperatura para alcanzar la viscosidad pico. Los gránulos más grandes gelatinizaron más rápidamente a bajas temperaturas, pero con altas entalpías.

La mayoría de los estudios microestructurales del maíz se han orientado a la industria de los almidones y pocos se han relacionado con alimentos o calidad de tortilla. Narváez *et al.* (2007b) estudiaron la relación entre la microestructura del grano y las propiedades funcionales de razas de maíz de América Latina, y su posible uso de acuerdo con la zona geográfica, concluyendo que existe relación entre los aspectos microestructurales del grano, tales como grado de compactación, grosor del pericarpio, tamaño del gránulo de almidón y morfología, con el uso potencial del maíz. El origen geográfico también se relaciona con el uso final. Las razas de México y Sudamérica tienen una amplia

variación en usos, mientras que las de Centro América y el Caribe mostraron ser apropiadas solamente para tortillas y botanas.

Respecto a lo anterior Salinas y Pérez (1997), mencionan que la calidad de un maíz para la preparación de tortillas se determina por las características físicas del grano, dentro de las que destaca la dureza, relacionada con la proporción de endospermo harinoso/cristalino. Ésta se encuentra asociada en forma directa con otras variables como peso electrolítico, densidad y contenido de proteína.

Vázquez *et al.* (2003) realizaron retrocruzas de maíces criollos mexicanos con híbridos comerciales para evaluar la calidad de grano y tortillas, teniendo como resultado que en los maíces criollos predominaron los granos de textura suave, con mayor porcentaje en germen y proteína que sus retrocruzas. Los porcentajes de aceite fueron iguales en los maíces criollos y sus retrocruzas.

Entre las propiedades importantes para uso alimentario son el tamaño del grano, la gravedad específica y la dureza del grano, así como la capacidad de absorción de agua, el rendimiento de la masa, el rendimiento de la tortilla y la pérdida de peso durante la cocción de la tortilla. El color del grano del maíz varía ampliamente entre genotipos y aunque no se considera una propiedad importante para el uso alimentario del mismo, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Mauricio *et al.*, 2004).

En caso de que se tengan granos de maíz duros, el índice de flotación será muy bajo o nulo, estos maíces son importantes para la industria harinera; los granos suaves o muy suaves son los que presentan un mayor índice de flotación, estos maíces el contenido de endospermo harinoso es mayor en relación con el contenido de endospermo duro o vítreo (Gaytán, 2004).

El tamaño del grano tiene implicaciones para la industria de las harinas nixtamalizadas durante las operaciones de limpieza que se realizan en forma previa a la nixtamalización, en las que se emplea una serie de mallas que permiten la separación de partículas de mayor o menor tamaño al del grano de maíz. En consecuencia, las mermas durante la limpieza se pueden incrementar considerablemente cuando el grano tiende a ser más delgado debido a que estos atraviesan fácilmente las mallas empleadas (Salinas y Pérez, 1997).

En este sentido Gaytán (2004), considera que el tamaño de los granos de maíz en la industria harinera es un factor de calidad que en cierta medida proporciona una idea acerca del uso final de este.

Vidal *et al.* (2008) determinaron la calidad proteínica con base en contenidos de proteína, lisina y triptófano de 45 colectas de maíces nativos colectados en la región serrana de Nayarit, obteniendo como resultados que los maíces de mejor calidad proteínica fueron Bofito Pinto, Chino Morado y Negro, los cuales presentaron bajo porcentaje de proteína (9 % en grano entero y 5.4 % en

endospermo). Los mejores contenidos de lisina (3.522 y 3.654 %) y triptófano (0.551 y 0.684 % en proteína), fueron registrados en maíces de grano azul; por su alto contenido de proteína destacaron los maíces Negro, Olotillo y Planeño Amarillo con 12.0, 11.7 y 11.6 %, respectivamente. Además identificaron 24 colectas que aportan más del 50 % de los requerimientos de lisina, y 5 accesiones que aportan más del 50 % de triptófano, de acuerdo a lo establecido por la FAO para la dieta de infantes menores de cinco años. Concluyendo que la calidad proteínica de estos maíces es nutricionalmente aceptable.

Así mismo, Mendoza-Elos *et al.* (2006) cuantificaron el contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica (QPM) CMSQ993027, CMSQ993037, CMSQ983051, CMSQ983015 y dos testigos (Variedad Roque I, maíz blanco y SBS400, amarillo). El contenido de proteína en los genotipos de maíz QPM fue de 10.38 y 10.31 %, y para los cultivares testigos blanco y amarillo fue de 10.93 %. El contenido de lisina y triptófano en el endospermo del QPM V6 (CMSQ983015) duplicó el de los maíces testigo. El QPM V6 presentó el mayor contenido de triptófano.

Sánchez *et al* (2007), realizaron un trabajo donde evaluaron 6 híbridos de maíz de tipo normal y 6 de calidad proteínica (QPM), con el objetivo de determinar si el menor contenido de prolaminas en el endospermo de los maíces QPM está relacionado con las características de textura en las tortillas, teniendo como resultado mayor porcentaje de proteína en los maíces normales (9.6 %) que en

los QPM (8.5 %), presentando mayor porcentaje de prolaminas en maíces normales pero menor cantidad de lisina y triptófano que los QPMs, además el contenido de prolaminas en el grano no estuvo asociado con la dureza de la tortilla. Concluyendo que el menor contenido de prolaminas de los maíces QPMs, con respecto a los maíces normales, favorece la calidad nutricional y de textura de sus tortillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético que se utilizó en el presente trabajo esta constituido por 20 poblaciones de maíz criollo que fueron recolectadas en la región de Coahuila en 2003, bajo condiciones de temporal. La semilla del material original fue incrementada en la estación experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Tepalcingo, Morelos en 2005 y de esta manera contar con semilla de dos ambientes contrastantes. Tanto la semilla original como la incrementada han sido conservadas en recipientes de plástico aprueba de humedad bajo condiciones controladas a una temperatura entre 0 y 5° C, a una humedad relativa promedio de 40 %.

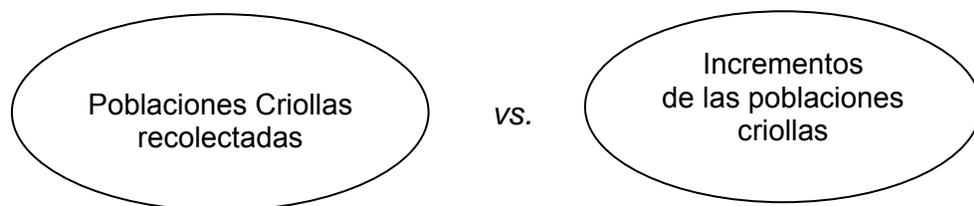


Figura 3.1. Esquema de la obtención del material genético utilizado.

Cuadro 3.1. Descripción del material genético.

No. de población	Descripción	Localidad
1	C-001	San Francisco del Ejido
2	C-002	San Francisco del Ejido
3	C-007	Santa Elena
4	C-013	San José de la Unión
5	C-014	Garambullo
6	C-015	Guajardo
7	C-016	Rincón Colorado
8	C-019	San Juan de Saucedá
9	C-020	Cosme
10	C-021	La Tortuga
11	C-024	Chapultepec
12	C-029	2 de Abril
13	C-030	La Constancia
14	C-031	La Constancia
15	C-033	Nuevo Sabanilla
16	C-034	San Juanito
17	C-039	San Antonio de las Alazanas
18	C-040	Porvenir de Jalpa
19	C-041	Narigua
20	C-042	Jalpa

El trabajo se llevó a cabo en cuatro estudios: caracterización para atributos físicos y calidad del grano, contenido de proteína, calidad fisiológica (germinación) e índice de velocidad de emergencia (invernadero).

ESTUDIO I: Caracterización para atributos físicos y calidad del grano

Dimensiones del grano: se tomaron diez granos al azar de cada población y se midió el espesor, ancho y largo. Se utilizó un vernier digital marca Stainless Hardened, expresando los resultados en milímetros.

Color del grano: se tomo una muestra de 100 granos al azar de cada población, se utilizó la escala de acuerdo a los descriptores de maíz (IBPGR, 1991) los cuales son: blanco, amarillo, jaspeado, café, anaranjado, moteado, capa blanca y rojo. Los resultados fueron expresados en porcentajes, la mayoría de las poblaciones tienen diferente color del grano dentro de la misma población.

Forma de la superficie del grano: para determinar la forma de la superficie del grano, se tomaron 100 granos al azar de cada población y se utilizó la escala de acuerdo a los descriptores de maíz del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1991) los cuales son: contraído, dentado, plano, redondo, puntiagudo y muy puntiagudo. Los resultados fueron expresados en porcentajes.

Peso de mil granos: se tomaron 50 granos al azar de cada población, se pesaron con una balanza de 0.001 gramos de precisión marca Ohaus modelo

Adventurer Pro Av53, la prueba se realizó por duplicado. Los datos se reportaron en gramos.

Densidad del grano: se utilizó el método del picnómetro, se llevó a cabo el conteo de los granos que flotaron al introducir 100 granos de maíz limpios y sanos de cada población en una solución de Nitrato de Sodio ajustada a 1.25 g/ml, utilizando un picnómetro. Se empleó un volumen de 300 ml, contenidos en un vaso de precipitado de 600 ml, separando los granos de maíz con ayuda de un agitador de vidrio, el conteo se realizó un minuto después de introducir los granos a la solución. La prueba se realizó por duplicado y los resultados se expresaron en porcentaje. Para el cálculo del porcentaje de granos flotantes se utilizó la siguiente fórmula:

$$IF = \left[\frac{\text{Granos flotantes}}{\text{Granos totales}} \right] \times 100$$

Estudio II. Determinación de proteína

Se determinó a través del método Kjeldhal, utilizando tres repeticiones para cada población, se utilizó un gramo de muestra, se colocó en papel filtro para depositarlas en un matraz Kjeldhal, después se colocaron en los digestores hasta su digestión completa. Posteriormente se pusieron a destilar hasta recuperar 250 ml del destilado, finalmente se tituló con ácido sulfúrico (H₂SO₄)

valorado al 0.01 N, hasta obtener un vire de color azul a rosa y se realizó el cálculo para obtener el porcentaje de proteína mediante la siguiente ecuación (AOAC, 1980):

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{(\text{ml gastados de la titulación} - \text{ml del blanco})(0.014)(0.01 \text{ N})}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ proteína cruda} = \% \text{ nitrógeno} \times \text{factor de conversión}$$

ESTUDIO III: Prueba de germinación

Este ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayos de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, basándose en lo establecido por el ISTA (2004) con algunas modificaciones, se sembraron tres repeticiones por cada población; cada repetición consistió en colocar 25 semillas entre hojas de papel Anchor previamente humedecidas, posteriormente se enrollaron formando "tacos"; aleatoriamente se acomodaron cuatro tacos por bolsa y se establecieron en una cámara de germinación a una temperatura de 25° C durante siete días.

Se efectuaron dos conteos, el primero al cuarto día, y fue tomado como una prueba de vigor, contando el número de plántulas normales; el segundo conteo se realizó a los 7 días, cuantificando las plántulas normales, el número de plántulas anormales y semillas sin germinar, de esta forma se evaluó la

capacidad germinativa de cada población. Ambos resultados fueron reportados en porcentaje.

En el mismo ensayo se determinaron las siguientes variables:

Longitud de plúmula y radícula: consistió en medir plúmula y radícula de 10 plántulas normales, realizándose esta prueba con el propósito de evaluar el vigor. Reportando los resultados en centímetros.

Peso fresco de plúmula y radícula: se obtuvo el peso fresco por separado de las plántulas evaluadas en longitud de plúmula y radícula, las cuales se pesaron en una balanza de 0.001 gramos de precisión marca Ohaus modelo Adventurer Pro Av53. Los resultados se reportaron en miligramos por plántula.

Peso seco de plúmula y radícula: se obtuvo el peso seco por separado de la plúmula y radícula de las plántulas normales obtenidas en la prueba de germinación, las cuales se colocaron en bolsas de papel perforadas, y se depositaron en la estufa de secado a una temperatura de 70 °C por 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo se pesó la plúmula y radícula en una balanza de 0.001 gramos de precisión marca Ohaus modelo Adventurer Pro Av53, reportando en miligramos por plántula.

ESTUDIO IV: Índice de velocidad de emergencia

La prueba se efectuó en invernadero, la siembra se realizó en una cama de concreto forrada con plástico de 0.85 m de ancho y 6.0 m de largo, como sustrato se empleo arena de río previamente desinfectada con bromuro de metilo (gas). Se sembraron tres repeticiones de 25 semillas por cada población a una profundidad uniforme de 3 cm y una distancia entre planta de 5 cm.

Índice de velocidad de emergencia

Se cuantifico diariamente el número de plántulas emergidas, los datos se tomaron a la misma hora para mayor precisión. El índice de velocidad de emergencia es una prueba de vigor, y se determinó por el conteo de las plántulas emergidas, empleándose la siguiente fórmula:

$$I.V.E. = \sum_{i=1}^n \frac{\text{No. de plántulas emergidas al } i - \text{ésimo conteo}}{\text{No. de días desde la siembra al } i - \text{ésimo conteo}}$$

El cálculo del por ciento de emergencia (ensayo de viabilidad) se efectuó tomando en cuenta el número de plantas totales emergidas en el último conteo, empleándose la siguiente fórmula.

$$\% E = \frac{\text{Plántulas emergidas en el último conteo}}{\text{No. de semillas sembradas en la repetición } n - \text{ésima}} \times 100$$

Longitud de plúmula y radícula: consistió en medir las dimensiones de la plúmula y radícula de cinco plántulas normales al azar de cada población, con el propósito de evaluar el vigor. Reportando los resultados en centímetros.

Peso fresco de plúmula y radícula: se obtuvo el peso fresco por separado de las cinco plántulas de cada población evaluadas para longitud de plúmula y radícula, las cuales se pesaron en una balanza de 0.001 gramos de precisión marca Ohaus modelo Adventurer Pro Av53. Los resultados se reportaron en miligramos por plántula.

Peso seco de plúmula y radícula: se utilizaron las mismas cinco plántulas evaluadas anteriormente de cada población y se colocó por separado la plúmula y radícula en bolsas de papel perforadas, se depositaron en la estufa de secado a 70 °C por 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo se pesó la plúmula y radícula en una balanza de 0.001 gramos de precisión marca Ohaus modelo Adventurer Pro Av53, reportando dicho dato en miligramos por plántula.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental utilizado para evaluar los parámetros antes mencionados fue un diseño completamente al azar cuyo modelo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = respuesta de la i -ésima población con la j -ésima repetición

μ = media general,

T_i = efecto de la i -ésima población,

E_{ij} = error experimental al efectuar la j -ésima observación de la i -ésima población.

Respecto a la comparación de medias, se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas. Para procesar los datos de las variables estudiadas se usó el paquete estadístico SAS (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESTUDIO I. Caracterización para atributos físicos y calidad del grano

Como se puede observar en el análisis de varianza (Cuadro 4.1), existen diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre los ambientes de producción de las poblaciones de maíz criollo recolectadas (PMCR) en Saltillo, Coahuila, contra las poblaciones de maíz criollo incrementadas (PMCI) en Tepalcingo, Morelos; para las variables índice de flotación (IF), peso de mil semillas (PMS), longitud del grano (L) y ($P \leq 0.05$) en ancho del grano (A) y espesor del grano (E), lo que demuestra que las variaciones ambientales y el manejo del cultivo determinan en gran medida la calidad del grano.

Al comparar las medias de las variables evaluadas (Cuadro 4.2), se encontró variación entre las poblaciones producidas bajo diferentes ambientes. En lo que respecta al índice de flotación las PMCR producidas bajo condiciones de temporal presentaron menor IF (38.05 %) que las PMCI (73.35 %). La determinación del IF o dureza en los granos de maíz es un importante parámetro para predecir la calidad industrial del maíz. De acuerdo a la norma mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002), las poblaciones recolectadas se encuentran dentro del rango de los maíces de dureza intermedia y las

poblaciones incrementadas dentro de los maíces de grano suave. Cabe mencionar que, éste parámetro sirve para determinar el tiempo de nixtamalización que se le dará a los granos para elaborar tortillas de buena calidad.

Robutti (2004) menciona que la dureza se debe a complejas interacciones entre los componentes del endospermo, principalmente las proteínas y el almidón. Las proteínas se comportan como una malla que incluye y soporta a los gránulos de almidón en su interior a medida que estos crecen en tamaño, durante el llenado del grano. La mayor densidad y vitrosidad del endospermo córneo depende de un fuerte ligamento entre el almidón y las proteínas de reserva (Cirilo, 2008). El contenido de proteína y almidón del endospermo del grano se incrementan con la relación fuente-destino durante el llenado de granos y viceversa (Borrás *et al.*, 2002).

Masagué *et al.* (2004) analizando la respuesta de un híbrido colorado duro encontraron que la densidad del grano también se incrementó con la relación fuente-destino, establecida durante el llenado y con ello mejoraron los datos de relación de molienda, peso hectolítrico y porcentaje de flotación. Es así como los valores de dureza del grano mostraron valores más favorables a medida que la relación fuente-destino se incrementó durante su llenado. En este sentido, las variaciones ambientales y en el manejo del cultivo pueden determinar modificaciones en la relación fuente-destino durante el llenado de los granos

(Andrade *et al.*, 1996), pudiendo esperarse alteraciones en su calidad comercial.

López *et al.* (2004) mencionan que el maíz apropiado para la industria de la tortilla requiere grano suave, mientras que maíz para elaborar botanas requiere grano duro. Un grano suave requerirá un menor tiempo de cocimiento en contraste con un grano duro.

En cuanto a las variables peso de mil semillas, longitud del grano y ancho de grano, se encontró diferencia estadística significativa entre las poblaciones recolectadas y las incrementadas. Teniendo los valores más altos las PMCR para PMS (278.675 g), L (11.737 mm) y A (8.255 mm). Al respecto, Andrade *et al.* (1996) menciona que las condiciones ambientales deficientes para el crecimiento de las plantas en el cultivo durante la etapa posterior a la floración (estrés lumínico, hídrico, nutricional, sanitario, por defoliación, etc.) limitan la provisión de asimilados a los granos durante su llenado y por lo tanto a bajos valores de relación fuente-destino el peso del grano puede reducirse.

En efecto, Tanaka y Maddonni (2004) evaluaron un híbrido durante 2002/03 bajo distintas condiciones de manejo agronómico (densidades entre 6 y 10.5 planta/m², fechas de siembra desde octubre a diciembre y distintos niveles de disponibilidad de nitrógeno y azufre en floración), encontraron que las siembras tempranas con densidades moderadas y una buena nutrición de esos minerales

mejoraron la calidad del grano (tanto en tamaño como en dureza) al propiciar mejores condiciones para su llenado.

El tamaño del grano es también una característica comercialmente relevante. Factores de estrés que reducen el crecimiento de las plantas durante el llenado de los granos limitan la provisión de asimilados a los mismos y, por ende, su tamaño final (Andrade *et al.*, 1996).

Con respecto a la variable espesor del grano (E), la localidad de Tepalcingo (PMCI) obtuvo un valor superior y estadísticamente diferente (4.831 mm) con respecto a PMCR (4.598 mm).

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza de los atributos físicos y calidad de grano de las poblaciones procedentes de dos ambientes: semilla original (Saltillo, Coah.) e incrementada en Tepalcingo, Mor.

	F.V	GI	IF (%)	gl	PMS (g)	gl	L (mm)	A (mm)	E (mm)
Ambientes		1	12460.900 **	1	69125.282 **	1	251.983 **	6.330 *	5.431 *
Error		38	354.355	78	1796.653	398	2.382	1.117	1.117
C. V (%)			33.795		17.003		14.103	13.004	22.417

*, ** = niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; IF = Índice de flotación; PMS = Peso de mil semillas; L= Longitud del grano; A = Ancho del grano; E = Espesor del grano.

Cuadro 4.2. Comparación de medias de las poblaciones evaluadas para los atributos físicos y calidad de grano en dos ambientes de producción: semilla original (Saltillo) y Tepalcingo, Mor.

AMBIENTES	IF (%)	PMS (g)	L (mm)	A (mm)	E (mm)
SALTILLO	38.050 a	278.675 a	11.737 a	8.255 a	4.598 b
TEPALCINGO	73.350 b	219.885 b	10.149 b	8.003 b	4.831 a
Media	55.700	249.280	10.943	8.129	4.714
Tukey	12.051	18.869	0.303	0.207	0.207

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$ %); IF = Índice de flotación; PMS = Peso de mil semillas; L= Longitud del grano; A = Ancho del grano; E = Espesor del grano.

En la variable color del grano de las poblaciones evaluadas, en la Figura 4.1 se presentan los resultados obtenidos para PMCR en donde se observa que la mayoría de estas poblaciones presentan granos de color blanco, lo que representa el 84.25 %; por el contrario la pigmentación menos observado fue el color pinto con solo el 1.75 % de las poblaciones, presentándose también algunas poblaciones con color de grano amarillo, azul, rojo y anaranjado.

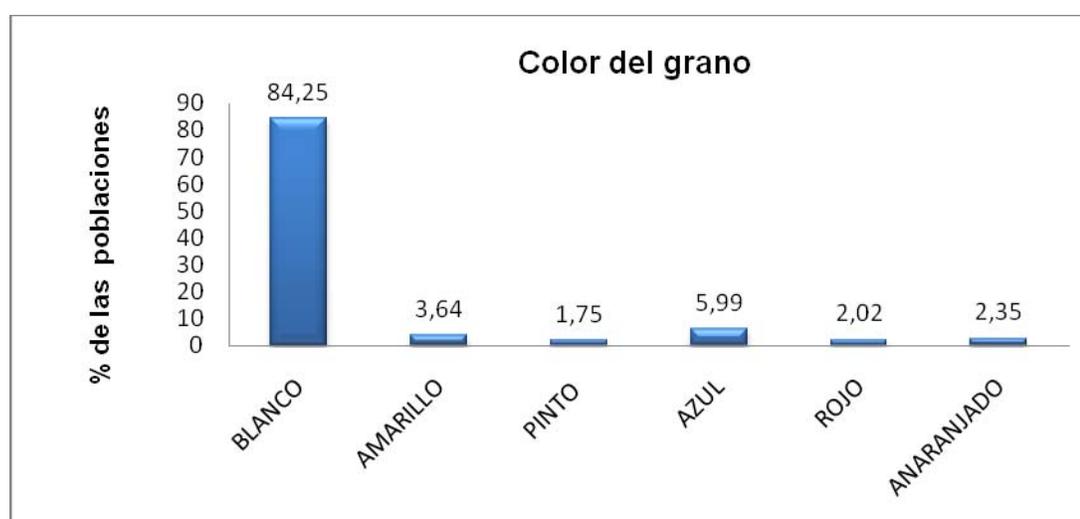


Figura 4.1. Color de grano de maíz de las poblaciones recolectadas en Saltillo, Coah.

En la Figura 4.2 se puede apreciar los resultados obtenidos para las PMCI, el color de grano más presente fue el blanco con un 89.52 %, aumentando un 5.27% más que las PMCR para este color de grano, el pigmento menos presentado fue el color de grano naranja con un 0.18 % del total de las PMCI; también se presentaron los colores de grano amarillo, azul, pinto y rojo pero estos en menor porcentaje que en las PMCR.

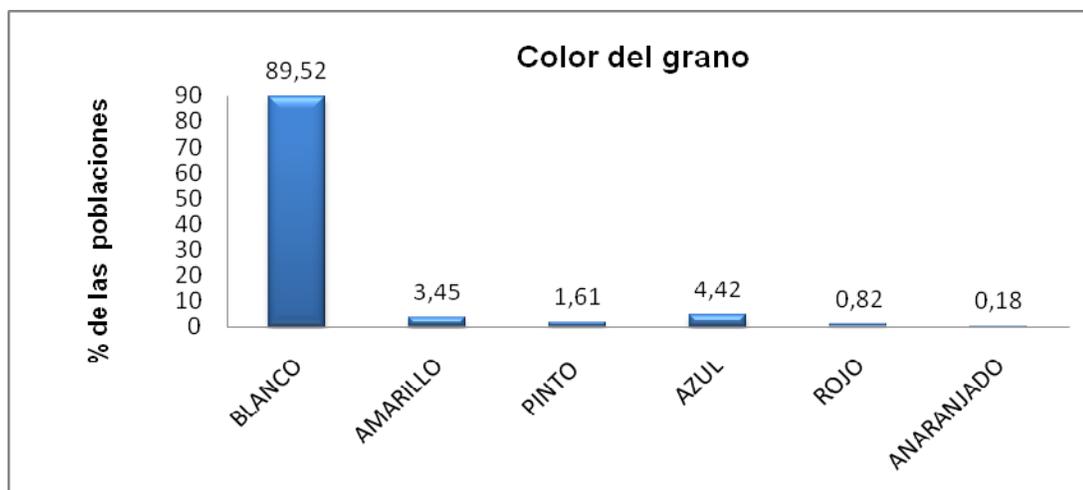


Figura 4.2. Color del grano de maíz de las poblaciones incrementadas en Tepalcingo, Mor.

Para la variable forma del grano en las diferentes poblaciones evaluadas, (Figura 4.3) en donde se observa que la mayoría de las PMCR presentan granos dentados con 35.45 % de las poblaciones y que solo el 0.45 % de estas presentaron grano plano, siendo esta forma la menos frecuente, encontrándose también grano contraído, redondo y puntiagudo.

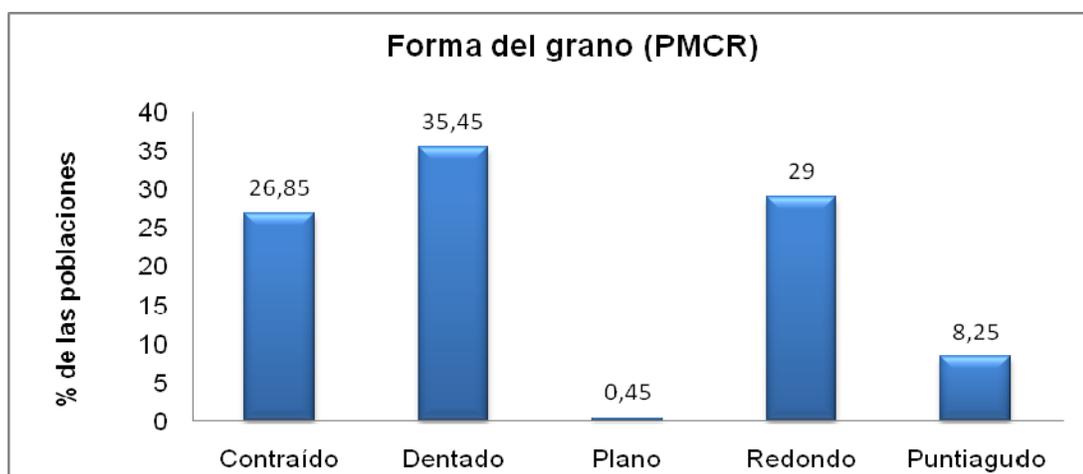


Figura 4.3. Forma del grano de maíz de las poblaciones recolectadas en Saltillo.

En la Figura 4.4 se presentan los resultados de las PMCI, en donde se observa que al igual que las PMCR la mayoría de las poblaciones presentaron grano dentado, aunque en las PMCI fue mayor el porcentaje con 52.35 %, seguido del grano contraído con 31 % y en menor proporción grano redondo, puntiagudo y plano.

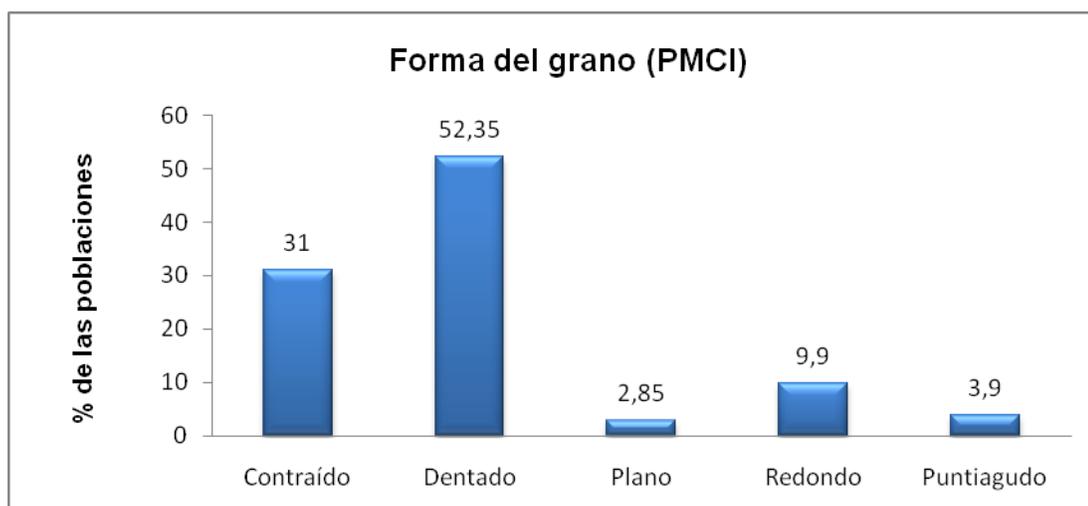


Figura 4.4. Forma del grano de maíz de las poblaciones incrementadas (Tepalcingo, Mor.).

Por lo anterior se puede concluir que el ambiente de producción de las diferentes poblaciones evaluadas si influye sobre las variables color y forma del grano, aunque las diferencias sean mínimas entre las PMCR y PMCI.

ESTUDIO II. Determinación de Proteína

Los cuadrados medios de la determinación de contenido de proteína de las poblaciones en estudio (Cuadro 4.3), muestran diferencia significativa entre los ambientes de producción ($P \leq 0.01$), debido al manejo del cultivo y a las variaciones climáticas.

Cuadro 4.3. Cuadros medios del análisis de varianza para de terminación de contenido de proteína del grano.

F.V	gl	PROTEÍNA (%)
Ambientes	1	204.949 **
Error	118	1.246
C. V (%)		9.941

*, ** = niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente.

En la comparación de medias (Cuadro 4.4), se observa que las poblaciones incrementadas obtuvieron mayor porcentaje de proteína (12.53 %), que las poblaciones originales (9.92 %); ya que a las poblaciones incrementadas se le aplicó fertilizante y en general tubo buenas condiciones de manejo y disponibilidad de agua, lo cual indica que bajo estas condiciones el porcentaje de proteína incrementa en el grano de maíz.

Cuadro 4.4. Comparación de medias de las poblaciones evaluadas para contenido de proteína del grano.

AMBIENTES	PROTEÍNA (%)
SALTILLO	9.922 B
TEPALCINGO	12.539 a
Media	11.229
Tukey	0.403

Los valores con la misma letra dentro de cada columna
Son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$ %).

Aguirrezábal y Andrade (1998), mencionan que las variaciones climáticas y las condiciones de cultivo determinan modificaciones en el porcentaje de proteínas del grano. Además una buena nutrición nitrogenada en maíz aumenta la densidad del grano, reduciendo la susceptibilidad al quebrado. Ello se produce como consecuencia del mayor contenido de proteína, especialmente de zeína presente en el endosperma córneo, y del incremento de la proporción de este tipo de endosperma.

Se han hecho pocos trabajos para examinar los efectos del riego en el valor nutricional de las proteínas en el grano de maíz, no obstante se ha observado que el riego es un factor que incrementa el rendimiento del grano, sin embargo disminuye el contenido de proteína y lisina, pero incrementa la lisina como porcentaje de proteína comparado con la ausencia de agua (Kniep y Mason, 1991).

Los mismos autores concluyen que tanto el rendimiento de los granos así como su calidad nutricional, están relacionados estrechamente con la selección de híbridos, la irrigación y la fertilidad con nitrógeno y que estos factores deben ser considerados por los productores de maíz.

En la comparación de medias por ambiente (Cuadro 4.5), con respecto al IF (índice de flotación), se encontró diferencia notoria entre los ambientes de producción, en las PMCR el rango fue desde cero a 94 por ciento de granos flotantes (C-021 y C-039, respectivamente), encontrándose el 55 por ciento de las poblaciones como granos duros, mientras que en las PMCI no se observó una variación tan amplia y el 70 por ciento de las poblaciones se clasifican como granos de dureza suave, por lo tanto el ambiente refleja una influencia en la calidad física del grano respecto a la dureza. Las PMCR obtuvieron valores más altos en cuanto al PMS (peso de mil semillas), siendo la población C-007 la que obtuvo el valor más alto (392.3 g) y al ser incrementada la semilla solo pesó 220.0 g, por lo que es muy notorio las diferencias presentadas en esta variable. Las poblaciones recolectadas obtuvieron valores de proteína de 7.70 a 11.14 por ciento (C-042 y C-020, respectivamente). Mientras que en las poblaciones incrementadas las que presentaron mayor contenido de proteína fueron las poblaciones C-029 con 14.04 por ciento y C-002 13.92 por ciento. Por lo anterior el contenido de proteína si mostró diferencias entre los ambientes de producción, mejorando en las poblaciones incrementadas por el manejo del cultivo al aplicarle fertilizante y contar con riego.

Cuadro 4. 5. Comparación de medias por ambiente de las poblaciones evaluadas para índice de flotación, peso de mil semillas y proteína.

OBS.	DESC.	IF (%)	PMS (g)	P (%)
Saltillo (semilla recolectada)				
1	C-001	29	197.1	10.76
2	C-002	61	259.0	10.39
3	C-007	17	392.3	10.15
4	C-013	29	291.9	9.13
5	C-014	31	363.9	8.90
6	C-015	36	290.2	10.90
7	C-016	62	223.5	10.67
8	C-019	13	288.6	10.60
9	C-020	17	303.3	11.14
10	C-021	0	310.4	9.45
11	C-024	56	330.4	10.11
12	C-029	27	357.2	8.65
13	C-030	13	283.7	10.84
14	C-031	40	289.3	9.64
15	C-033	66	249.1	9.80
16	C-034	62	197.9	9.40
17	C-039	94	177.8	9.87
18	C-040	28	264.8	10.11
19	C-041	44	279.5	10.23
20	C-042	36	223.6	7.70
Tepalcingo (semilla incrementada)				
21	C-001	50	224.8	12.55
22	C-002	75	233.3	13.92
23	C-007	96	220.0	12.95
24	C-013	85	192.6	13.22
25	C-014	86	212.4	11.93
26	C-015	58	235.1	13.10
27	C-016	83	212.7	13.43
28	C-019	62	240.2	13.34
29	C-020	70	237.8	12.48
30	C-021	47	207.0	13.81
31	C-024	87	240.7	12.17
32	C-029	82	251.0	14.04
33	C-030	64	225.8	13.31
34	C-031	80	227.9	11.57
35	C-033	73	234.1	11.93
36	C-034	76	198.6	12.91
37	C-039	91	199.7	10.90
38	C-040	77	193.3	11.54
39	C-041	61	228.1	10.43
40	C-042	64	182.6	11.16

IF = Índice de flotación; PMS = Peso de mil semillas; P = Proteína.

ESTUDIO III. Calidad fisiológica

Los cuadrados medios del análisis de varianza para los ensayos de germinación (Cuadro 4.6) muestran diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) entre ambientes de producción, para las variables peso fresco de plúmula (PFPL) y peso fresco de radícula (PFRA). Las demás variables no presentaron una respuesta significativa para los ambientes de producción.

En el análisis de comparación de medias (Cuadro 4.7) se puede observar que hay diferencia estadística en las variables PFPL y PFRA, en donde las PMCR obtuvieron un mayor peso que las PMCI en ambas variables, presentando 264.420 mg de PFPL y 195.9 mg para PFRA, estando estos valores por arriba de la media general. Lo cual posiblemente se debe a que al estar en un ambiente seco las plántulas están obligadas a almacenar la mayor cantidad de agua para las necesidades de la misma en las etapas posteriores del cultivo ocurriendo de manera contraria con las poblaciones producidas bajo riego.

Las variables primer conteo (PC), germinación (G), peso seco de plúmula (PSPL) y peso seco de radícula (PSRA) no presentaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo presentaron diferencias numéricas. En la variable PC en donde sobresalieron las PMCI con un mayor porcentaje (10.49 %) estando por arriba de la media general, lo que nos indica que presentaron vigor más alto; por el contrario en la variable germinación las poblaciones con más alto

porcentaje fueron las PMCR con 73.4 por ciento, estos resultados corroboran lo señalado por Vázquez (2007), quien menciona que existe diferencia en la capacidad para germinar de la semilla y en el vigor de las plántulas debido a la influencia del ambiente.

Al comparar los resultado de los cuadros 4.6 y 4.7 se puede concluir, que existe diferencia tanto estadística como numérica entre las poblaciones producidas bajo diferentes ambientes en cuanto a las variables LFPL y LFRA, presentando un mayor peso las PMCR en Saltillo, Coahuila. Este mayor peso se puede deber a que una semilla de maíz sembrada bajo condiciones de temporal posee la capacidad de germinar en suelos con poca humedad y por lo tanto presentar una alta relación raíz:tallo en la etapa de emergencia. Los resultados obtenidos corroboran lo señalado por Biasutti (2001), al determinar si la selección en maíz efectuada en ambientes altamente variables produce una respuesta indirecta en la capacidad de germinar bajo estrés hídrico, donde encontró una disminución de la longitud del coleoptilo en los ciclos de selección realizados en ambientes con mayores variaciones climáticas, dando sistemas radicales de mayor longitud pero con menor radio; en este caso el porcentaje de germinación mostró ser un carácter altamente dependiente de las condiciones ambientales por lo que es probable que la selección natural haya explotado la mayor parte de la variabilidad genética positiva para los caracteres de plántula evaluados en este trabajo.

La germinación y el vigor son los principales atributos involucrados dentro de la calidad fisiológica y nos ayuda a caracterizar o elegir materiales para un mejor programa de mejoramiento genético.

Cuadro 4.6. Cuadrados medios del análisis de varianza de los atributos fisiológicos evaluados en laboratorio de las poblaciones de Saltillo (semilla original) y Tepalcingo (semilla incrementada).

F.V	gl	PC (%)	G (%)	PFPL (mg/pl)	PFRA (mg/pl)	PSPL (mg/pl)	PSRA (mg/pl)
Ambientes	1	271.044 ns	616.172 ns	54.946 **	27.379 **	0.00219 ns	0.010 ns
Error	118	110.021	368.346	3.673	3.168	0.021	0.031
C. V (%)		116.657	26.98	24.94	31.136	24.838	32.164

*, ** = niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; ns = no significativo; PC = Primer conteo; G=Germinación; PFPL= Peso fresco de plúmula; PFRA= Peso fresco de radícula; PSPL= Peso seco de plúmula; PSRA= Peso seco de radícula.

Cuadro 4.7. Comparación de medias de los atributos fisiológicos evaluados en laboratorio de las poblaciones en estudio.

AMBIENTES	PC (%)	G (%)	PFPL (mg/pl)	PFRA (mg/pl)	PSPL (mg/pl)	PSRA (mg/pl)
SALTILLO	7.489 a	73.4 a	264.420 a	195.900 a	18.681 a	17.745 a
TEPALCINGO	10.495 a	68.868 a	221.630 b	165.290 b	18.951 a	17.140 a
Media	8.991	71.134	243.023	180.798	18.817	17.443
Tukey	3.792	6.938	0.021	0.020	0.001	0.002

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$ %); PC = Primer conteo; G=Germinación; PFPL= Peso fresco de plúmula; PFRA= Peso fresco de radícula; PSPL= Peso seco de plúmula; PSRA= Peso seco de radícula.

ESTUDIO IV. Índice de Velocidad de Emergencia

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) se muestran en el (Cuadro 4.8), en donde se observa que existen diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre ambientes de producción en las variables peso fresco de plúmula (PFPL), peso fresco de radícula (PFRA) y peso seco de radícula (PSRA); con respecto a las variables índice de velocidad de emergencia (IVE), emergencia total (ET), peso seco de plúmula (PSPL), longitud media de plúmula (LMP) y longitud media de radícula (LMR) no se observó diferencias significativas.

En el Cuadro 4.9 se presenta la comparación de medias de las variables evaluadas bajo invernadero. Las variables peso fresco de plúmula (PFPL), peso fresco de radícula (PFRA) y peso seco de radícula (PSRA) presentaron diferencias estadísticas entre ambientes de producción, en donde las PMCR obtuvieron mayor peso que las PMCI en las tres variables antes mencionadas, obteniendo valores que superan a la media general de 1.025, 0.969 y 0.044 g respectivamente.

En cuanto a las variables, índice de velocidad de emergencia (IVE), emergencia total (ET), peso seco de plúmula (PSPL), longitud media de plúmula (LMP) y longitud media de radícula (LMR) no se encontró

diferencia estadística, sin embargo, numéricamente en la variable emergencia total (ET) las PMCR mostraron mayor emergencia con 91.22 % que las PMCI con 89.93 % de plántulas emergidas.

En resumen, sí se refleja un efecto del ambiente de producción sobre la calidad de las semillas; la prueba de vigor nos ayuda a medir el proceso bioquímico y reacciones durante la germinación, como: reacciones enzimáticas, actividades respiratorias, tasa de uniformidad y de emergencia de plántula, crecimiento en el campo y la habilidad de emergencia de plántulas bajo condiciones ambientales desfavorables (ISTA, 2004).

Cuadro 4.8. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de velocidad de emergencia (IVE).

F.V	gl	IVE	ET (%)	PFPL (mg/pl)	PFRA (mg/pl)	PSPL (mg/pl)	PSRA (mg/pl)	gl	LMP (cm)	LMR (cm)
Ambientes	1	0.009 ns	49 ns	104.322 **	201.713 **	0.439 Ns	2.025 **	1	0.375 ns	20.461 ns
Error	115	0.176	84.571	10.227	12.831	0.268	0.198	598	6.445	18.974
C. V (%)		11.152	10.154	10.164	12.218	39.878	35.036		21.771	22.3

*, ** = niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; ns = no significativo; IVE = índice de velocidad de emergencia; E = Emergencia total; PFPL= Peso Fresco de plúmula; PFRA= Peso fresco de radícula; PSPL= Peso seco de plúmula; PSRA= Peso seco de radícula; LMP = Longitud media de plúmula; LMR = Longitud media de radícula.

Cuadro 4.9. Comparación de medias de las poblaciones evaluadas en la prueba para índice de velocidad de emergencia.

AMBIENTES	IVE	ET (%)	PFPL (mg/pl)	PFRA (mg/pl)	PSPL (mg/pl)	PSRA (mg/pl)	LMP (cm)	LMR (cm)
SALTILLO	3.772 a	91.228 a	1025.61 a	969.68 a	43.077 a	44.435 a	11.635 a	19.717 a
TEPALCINGO	3.754 a	89.933 a	965.87 b	886.61 b	39.200 a	36.110 b	11.685 a	19.348 a
Media	3.763	90.564	994.974	927.07	41.089	40.166	11.660	19.532
Tukey	0.153	3.369	0.037	0.041	0.006	0.005	0.0407	0.698

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$ %); IVE = índice de velocidad de emergencia; E = Emergencia total; PFPL= Peso Fresco de plúmula; PFRA= Peso fresco de radícula; PSPL= Peso seco de plúmula; PSRA= Peso seco de radícula; LMP = Longitud media de plúmula; LMR = Longitud media de radícula.

En la comparación de medias por ambiente para los atributos fisiológicos (Cuadro 4.10), las poblaciones incrementadas mostraron mejor desempeño de vigor en la emergencia de plántulas dando valores desde cero a 36.44 por ciento, sobre todo la población C-013 que obtuvo el valor más alto. En las poblaciones recolectas el rango de vigor fue de cero a 20 por ciento (C-015, C-020 y C-039 respectivamente). Así mismo, las poblaciones que obtuvieron mayores valores de germinación con un rango de 18.66 a 92.88 por ciento (C-042 y C-013, respectivamente) e índice de velocidad de emergencia con rangos de 2.94 a 4.26 (C-042 y C-002, respectivamente), fueron las poblaciones incrementadas, sin embargo las diferencias fueron mínimas respecto a las poblaciones recolectadas. En emergencia total mostraron valores similares los dos ambientes con un valor de 98.66 por ciento en ambas poblaciones. Las mejores fueron C-03 y C-040 para las poblaciones originales y C-002 y C-013 para las poblaciones incrementadas.

Cuadro 4.10. Comparación de medias por ambiente de los atributos fisiológicos evaluados en laboratorio e invernadero de las poblaciones en estudio.

OBS.	DESC.	V (%)	G (%)	IVE	E (%)
Saltillo (semilla recolectada)					
1	C-001	13.33	74.66	3.901	92.00
2	C-002	5.33	72.00	4.163	96.00
3	C-007	4.00	77.33	3.901	94.66
4	C-013	6.66	52.00	2.695	62.66
5	C-014	8.00	54.66	3.548	80.00
6	C-015	0.00	42.66	3.075	88.00
7	C-016	6.66	85.33	3.765	90.66
8	C-019	2.66	84.00	3.934	96.00
9	C-020	0.00	84.00	3.962	97.33
10	C-021	13.33	89.33	3.862	93.33
11	C-024	4.00	61.33	3.700	89.33
12	C-029	4.00	82.66	3.969	96.00
13	C-030	4.00	88.00	4.040	98.66
14	C-031	12.44	62.66	3.849	94.66
15	C-033	12.00	68.00	3.596	86.66
16	C-034	13.33	65.33	3.725	89.33
17	C-039	20.00	77.33	3.869	92.00
18	C-040	2.66	84.00	4.067	98.66
19	C-041	10.66	73.33	4.050	97.33
20	C-042	6.66	89.33	-	-
Tepalcingo (semilla incrementada)					
21	C-001	18.66	78.66	4.057	93.33
22	C-002	18.66	88.00	4.260	98.66
23	C-007	9.33	87.83	3.950	94.66
24	C-013	36.44	92.88	4.381	98.66
25	C-014	18.78	79.30	3.788	89.33
26	C-015	8.00	81.33	3.923	96.00
27	C-016	5.33	74.66	3.838	90.66
28	C-019	2.66	50.66	3.384	82.66
29	C-020	0.00	61.33	3.251	82.66
30	C-021	1.33	34.66	3.541	90.66
31	C-024	16.00	73.33	3.161	72.00
32	C-029	0.00	73.33	3.680	90.66
33	C-030	10.66	68.00	3.539	88.00
34	C-031	2.66	76.00	3.684	93.33
35	C-033	17.33	81.33	4.144	96.00
36	C-034	10.66	49.33	4.193	96.00
37	C-039	9.33	74.66	3.559	82.66
38	C-040	6.66	69.33	3.714	93.33
39	C-041	13.33	64.00	4.095	94.66
40	C-042	4.00	18.66	2.944	74.66

V= Vigor; G= Germinación; IVE = índice de velocidad de emergencia; E = Emergencia total.

CONCLUSIONES

Con respecto a los objetivos planteados en la presente investigación y relacionándolos con los resultados anteriormente mencionados, se concluye lo siguiente:

Las poblaciones de maíz recolectadas mostraron mayor tamaño de grano y por consecuencia mayor peso de mil semillas en promedio, superando en un 21.1 por ciento a las poblaciones incrementadas; por el contrario las poblaciones incrementadas presentaron mayor índice de flotación (73.35 %) clasificándose la mayoría de estas poblaciones como maíces de grano suave, mientras que las poblaciones recolectadas están en el rango de granos de dureza intermedia, además estas poblaciones presentaron valores más altos de proteína (12.53 %) que las poblaciones recolectadas (9.92 %).

En cuanto al color y forma del grano se observó que el ambiente de producción influye sobre estas variables, sin embargo las diferencias fueron mínimas, observando que la mayoría de las poblaciones recolectadas como incrementadas presentando grano dentado y de color blanco.

En cuanto a calidad fisiológica en los ensayos de laboratorio ambas poblaciones se comportaron de manera semejante en germinación y peso seco, reflejando diferencias mínimas en cuanto a vigor, siendo las poblaciones incrementadas las que presentaron mayor porcentaje de plántulas en el primer conteo. Para peso fresco de plúmula y radícula, si existió diferencia marcada siendo las poblaciones recolectadas, las que presentaron mayor peso fresco.

En invernadero las poblaciones recolectadas presentaron mayor porcentaje de emergencia total, peso fresco de plúmula, peso fresco de radícula y peso seco de radícula, sin embargo, las poblaciones incrementadas obtuvieron la mayor acumulación de materia seca de la parte aérea. Por lo que si existe efecto del ambiente de producción y de manejo sobre la calidad de semillas.

LITERATURA CITADA

- Aguirrezábal L. A. N. y Andrade F. H. 1998. "Calidad de maíz" en Calidad de productos agrícolas. INTA -FCA-UNMdP- Balcarce. 1-3 p.
- Andrade F., A. Cirilo G., S. Uhart, M. Otegui. 1996. Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa- EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. 292. p.
- Associations of Oficial Analytical Chemists (AOAC). 1980. Oficial Método of Análisis. Dairy products. Washington, D.C. USA.
- Borrás L., A. Curá J., and Otegui, M.E. 2002. Maize Kernel Composition and Post-Flowering Source-Sink Ratio. *Crop Sci.* 42: 781-790.
- Biasutti, C.A. y V.A. Galiñanes. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *Agriscientia*.18: 37-44.
- Caraballosa T., V., A. Mejía C., S. Valderrama C., A. Carballo C., F. V. González C. 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de valles altos de México. México. *Agrociencia* 34: 167-174.
- Cirilo A. G., 2008. Manejo para la producción de maíz tipo plata. INTA EEA Pergamino. p.2. en Línea:
http://www.inta.gov.ar/PERGAMINO/info/documentos/2008/jormaiz/Art_M AIZ%20PLATA_Jor2008.pdf. Fecha de consulta: agosto del 2008.
- FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. Italia. 15-32 p.
- Figuroa L., H. O., L. Reyes C., A. Salgado P., B. López C. y B. Cruz L. 1998. Determinación de indicadores del vigor en dos orígenes de tres genotipos de maíz (*Zea mays* L.). *In*: Ramírez V., P., F. Zavala G., N. O. Gómez M., F. Rincón S. y A. Mejía C. Memorias del XVII Congreso de Fitogenética. SOMEFI. Chapingo. México. 269 p.

- Flores H., A. 2004. Introducción a la tecnología de las semillas. Primera edición. Ed. UACH. Chapingo. Edo. De México. 156 p.
- Gaytán M., M. 2004. Evaluación y validación de métodos para la clasificación de calidad alimentaria en maíces criollos. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México. 144 p.
- Guillen P., L. A., C. Sánchez Q., S. Mercado D. y H. Navarro G. 2002. Análisis de atribución casual en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. México. Agrociencia 36: 377-387.
- Hellin J. y Bellon M. 2007. Manejo de semillas y diversidad del maíz. LEISA revista de agroecología .9 -11 p.
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, México City. Roma, Italia. 14-22 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International Rules for Seed Testing. Ed. 2004. Bassersdorf, CH-Switzerland. 700 p.
- López G. A. H., J. D. Figueroa C., A. Mendoza G., M. Gaytán M., J. Vélez M. (2004). Avances en la evaluación de la dureza en granos de maíz utilizando la técnica de ultrasonido. Cinvestav-Unidad Querétaro. IPN. Simposium de metrología: del 25 a 27 de octubre de 2004. Querétaro. Qro. 1- 4 p.
- Kniep K.R. and S. C. Mason. 1991. Lysine and protein content of normal and opaque-2 maize grain as influenced by irrigation and nitrogen. Crop Sci. 31:177-181
- Manjarrez, S. M. 2006. Efectos genéticos en la calidad de semillas de maíz de grano normal y de alta calidad proteica. Tesis de Doctorado en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 95-97 p.
- Márquez S., F., L. Sahagún C., J. A. Carrera V., E. Barrera G. 2000. Retrocruza limitada para el mejoramiento genético de maíces criollos. Ed. UACH. México. 9 p.
- Masagué A., A. Cirilo, F. Andrade. 2004. La dureza de grano de maíz (*Zea mays L.*) colorado duro está asociada con la relación fuente-destino postfloración. Actas XXV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Santa Rosa (La Pampa). 22 p.

- Mauricio S., R. A., J. D. Figueroa C., S. Taba., M. L. Reyes V., F. Rincón S., A. Mendoza G. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 213-222.
- Mendoza-Elos M., E. Andrio E., J. M. Juárez G., C. Mosqueda V., L. Latournerie M., G. Castañón N., A. López B., E. Moreno M. 2006. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia.* 22 (2):153-161.
- Molina M., J., D. Lisakowski I. y E. Paulo Z. 1992. Pruebas de vigor para semillas de maíz y su relación con la emergencia en campo. *Rev. Fitotec. Méx.* 15:10-21.
- Moreno M., E. 1996. Análisis físico y fisiológico de semillas agrícolas. Tercera edición. Instituto de Biología. UNAM. México. D. F. 393 p.
- Narváez G., E. D., J. D. Figueroa C., S. Taba, E. Castaño T., R. A. Martínez P. 2007a. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Méx.* 30:269-277.
- Narváez G., E. D., J. D. Figueroa C., S. Taba. 2007b. Aspectos microestructurales y posibles usos del maíz de acuerdo con su origen geográfico. *Rev. Fitotec. Méx.* 30:321- 325.
- Norma Mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba.15 p.
- Salinas M. Y y P. Pérez H. 1997. Calidad nixtamalera-tortillera en maíces comerciales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20:121-136.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT Editores. México. 10- 17 p.
- Robutti J., L. 2004. Calidad y usos del maíz. IDIA XXI. INTA Pergamino, Buenos Aires. 100-104 p.
- Sánchez F., C., Y. Salinas M., M. G. Vázquez C., G. A. Velázquez C., N. Aguilar G. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays L.*) sobre la textura de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 57: 295-301.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman y C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany.* Vol. 54:43-59.

- Statistical applied system. SAS Institute Inc. (2004). SAS/STAT 9.1 User's Guide Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. 2007. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996 - 2012. México, D. F. 19-26 p.
- Tanaka, W. y A. Maddonni G. 2004. Competencia intra-específica en el cultivo de maíz: evolución del peso de los granos y sus fracciones. XXV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. 110 p.
- Turrent-Fernandez, A., R. J. Laird, J. I. Cortes F., A. Barrios A. 2005. Revisiting agroecosystem productivity: II. Validity for adapting technology to maize in México. *Agrociencia* 39: 149-159.
- Vázquez A., A. N. 2007. Atributos agronómicos y calidad fisiológica de líneas y sus progenies en maíz derivadas de semilla criolla por mejorada. Tesis de Maestría en Tecnología de Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. pp. 9-50.
- Vázquez C., M. G., B. L. Guzmán, J. L. Andrés G., F. Márquez S. y J. M. Castillo. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 231-238.
- Vidal M., V. A., G. Vázquez C., B. Coutiño E., A. Ortega C., J. L. Ramírez D., R. Valdivia B., M. de J. Guerrero H., F. de J. Caro V., O. Cota A. 2008. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:15-21.