



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO DE ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

Evaluación de variedades nativas de maíz expuestas a helada natural y artificial en Valles Altos de Puebla, México

RICARDO PÉREZ DE LA LUZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2010



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUE-43-2-03 ANEXO

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Ricardo Pérez de la Luz** alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Higinio López Sánchez** por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Evaluación de variedades nativas de maíz expuestas a helada natural y artificial en valles altos de Puebla, México** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla 1 de noviembre de 2010.

Firma

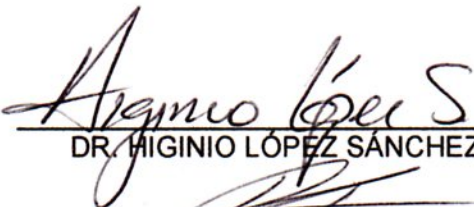
Vo. Bó. Profesor Consejero o Director de Tesis


La presente tesis intitulada: **Evaluación de variedades nativas de maíz expuestas a helada natural y artificial en valles altos de Puebla, México**; realizada por el alumno: **Ricardo Pérez de la Luz**; bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


MAESTRÍA EN CIENCIAS

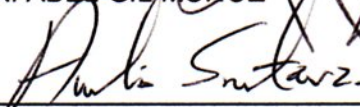
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. HIGINIO LÓPEZ SÁNCHEZ

ASESOR: 
DR. PEDRO ANTONIO LÓPEZ

ASESOR: 
DR. ABEL GIL MUÑOZ

ASESOR: 
DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA

Puebla, Puebla, México, 19 de noviembre de 2010

**EVALUACIÓN DE VARIEDADES NATIVAS DE MAÍZ EXPUESTAS A HELADA
NATURAL Y ARTIFICIAL EN VALLES ALTOS DE PUEBLA, MÉXICO**

Ricardo Pérez de la Luz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

RESUMEN

El maíz es el cultivo mas importante en México, por su superficie sembrada y por ser parte de la dieta básica de la población mexicana; sin embargo, el rendimiento por ha es bajo debido a factores adversos como las heladas. En México la superficie sembrada con maíz es de 8 millones de ha, de las cuales el 1.2 % es siniestrada por helada, porcentaje que en Puebla es de 1.1 y de 1.6 en sus Valles Altos, lo cual afecta la producción de grano de maíz. A pesar de lo anterior, los estudios enfocados a un mejor entendimiento de los efectos de las heladas en la producción de maíz son escasos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las heladas en el rendimiento de grano de maíz y en la germinación y vigor de la semilla expuesta a helada natural y artificial. En ambos tipos de helada se evaluaron 61 variedades nativas y tres materiales mejorados. La helada natural se aplicó al sembrar la semilla de las variedades en tres localidades donde hay presencia de heladas durante el desarrollo del cultivo. 8 variables agronómicas fueron evaluadas, incluyendo floración y rendimiento de grano. La helada artificial se aplicó en una cámara de crecimiento. En ambos tipos de helada se evaluó la germinación, vigor y la conductividad eléctrica de la semilla. Se realizó un análisis de varianza combinado a las ocho variables agronómicas y un análisis de varianza a las variables de la semilla. Se encontró que el

daño por heladas fue mayor en las etapas tempranas de desarrollo de la semilla, por lo que las variedades menos afectadas fueron las intermedias. A pesar de que las heladas afectaron a todas las variedades se encontraron algunas nativas menos afectadas en su rendimiento (CPue131) y algunas con menor interacción entre localidades (CPue131, CPue448 y CPue134), en comparación con las mejoradas. Sin embargo, las variedades de mayor rendimiento de grano fueron diferentes a aquellas que presentaron mayor germinación y vigor (CPue074 y CPue079) y menor conductividad eléctrica (CPue090 y CPue079). Se concluyó que existe diversidad genética para tolerancia a heladas en las variedades nativas de maíz de la región.

Palabras clave: factores adversos, maíz, conductividad eléctrica, germinación estándar.

**EVALUATION OF MAIZE LANDRACES EXPOSED TO ARTIFICIAL AND
NATURAL FROST ON HIGHLANDS OF PUEBLA, MÉXICO**

Ricardo Pérez de la Luz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

ABSTRACT

Maize is the most important crop in Mexico, because of its planted area and its relevance in the Mexican population feeding; however, yield per hectare is low due to adverse factors as frosts. The area planted with maize in Mexico is 8 million ha, from which 1.2 % is injured by frost, percentage that in Puebla is 1.1 and 1.6 in its highlands, what affect maize grain production. Despite before described, research considered to a better understanding of frost effects on maize grain production is scarce. The objective of this research was to evaluate the effect of frosts on maize grain production and germination and vigor of seed subjected to natural and artificial frost. 61 landraces and 3 improved varieties were tested in both types of frost. Natural frost was applied by sowing seed of cultivars at three localities where frosts are common during crop development. 8 agronomic traits were measured, including flowering and grain yield. Artificial frost was applied in a plant growing chamber. Germination, vigor, and electrical conductivity were evaluated in seed from both artificial and natural frost. A combined analysis of variance was performed on agronomic traits and an analysis of variance on seed traits. Results showed that injury by frost was higher in the early seed development stages, resulting in a less injury of intermediate varieties. Despite frost affected all cultivars some landraces were less affected in

their yield (CPue131) and some of them with less interaction among localities (CPue131, CPue448 y CPue134), as regard to improved ones. However, cultivars with higher grain yield were different to those with the higher germination and vigor (CPue074 y CPue079) and less electrical conductivity (CPue090 y CPue079). It was concluded that there is genetic diversity to frost tolerance on maize landraces of the region.

Key Words: adverse factors, maize, electrical conductivity, standard germination.

AGRADECIMIENTOS

- Al **Colegio de Postgraduados Campus Puebla**, por abrirme sus puertas para realizar uno de mis proyectos personales.
- A la **Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA)**, por las facilidades que me brindó para cursar este postgrado.
- A la **Coordinación Sectorial de Desarrollo Académico (COSDAC)**, por haber financiado esta investigación.
- A los integrantes de mi consejo particular: **Drs. Higinio López Sánchez, Pedro Antonio López, Abel Gil Muñoz y Amalio Santacruz Varela** por su decidido y generoso apoyo para la realización de este trabajo.
- A los **productores de maíz de los estados de Puebla y Tlaxcala**, por proporcionarnos las muestras de maíz, y a los que me prestaron los terrenos para establecer los experimentos.
- A las **compañeras y compañeros del postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional**, por su apoyo en mejorar este trabajo.

DEDICATORIA

A mi esposa e hija: **Maria del Carmen Rosas Luna y Diana Pérez Rosas**, por su gran amor, confianza y apoyo sin reservas, para conseguir una meta más en la vida.

A mis padres: **Estela de la Luz Muñoz y Celso Pérez Aburto+**, por el amor y cuidado en todas las etapas de mi vida, porque gracias a su dedicación y enseñanza me dieron las herramientas para conseguir un objetivo mas.

A mis hermanos: **Héctor, Celso+, Florinda, Lucio y Estela**, por su valioso apoyo

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivo general.....	2
1.3 Materiales y métodos.....	3
1.4 Organización de la tesis.....	4
1.5 Referencias bibliográficas.....	5
II. EVALUACIÓN DE VARIEDADES NATIVAS DE MAÍZ EN AMBIENTES CON HELADAS EN VALLES ALTOS DE PUEBLA, MÉXICO.....	8
2.1 Resumen.....	9
2.2 Summary.....	10
2.3 Introducción.....	11
2.4 Materiales y métodos.....	13
2.5 Resultados y Discusión.....	15
2.6 Conclusiones.....	20
2.7 Agradecimientos.....	21
2.8 Referencias bibliográficas.....	21
2.9 Cuadros y figuras.....	25

III. RESISTENCIA DE SEMILLA DE MAÍZ DAÑADA POR HELADA NATURAL Y ARTIFICIAL.....	31
3.1 Resumen.....	32
3.2 Summary.....	33
3.3 Introducción.....	34
3.4 Materiales y métodos.....	36
3.5 Resultados y Discusión.....	40
3.6 Conclusiones.....	43
3.7 Agradecimientos.....	44
3.8 Referencias bibliográficas.....	44
3.9 Cuados y figuras.....	48
IV. CONCLUSIONES GENERALES.....	52

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
II. EVALUACIÓN DE VARIEDADES NATIVAS DE MAÍZ EN AMBIENTES CON HELADAS EN VALLES ALTOS DE PUEBLA, MÉXICO.	
Cuadro 1. Temperaturas mínimas normales y precipitación pluvial promedio mensual y anual, periodo 1971-2000.....	25
Cuadro 2. Cuadrados medios (CM), su significancia y coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza combinado a través de localidades.....	25
Cuadro 3. Prueba de medias del análisis combinado para localidades.....	26
Cuadro 4. Pruebas de medias del análisis combinado para variedades que constituyeron el grupo superior (17%)	26
III. GERMINACIÓN Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SEMILLAS DE MAÍZ DAÑADAS POR HELADA NATURAL Y ARTIFICIAL	
Cuadro 1. Cuadrados medios y coeficientes de variación de las variedades registradas en la prueba de germinación estándar.....	48
Cuadro 2. Germinación estándar del 10 % superior e inferior de las poblaciones Estudiadas.....	48
Cuadro 3. Cuadrados medios y coeficientes de variación de la prueba de	

conductividad eléctrica	49
Cuadro 4. Variedades con los valores de conductividad eléctrica más bajos y más altos, y el peso de la semilla de las variedades en estudio.....	49
Cuadro 5. Conductividad eléctrica y peso de la semilla de acuerdo al origen de la misma.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
II. EVALUACIÓN DE VARIEDADES NATIVAS DE MAÍZ EN AMBIENTES CON HELADAS EN VALLES ALTOS DE PUEBLA, MÉXICO.	
Figura 1. Ubicación de las regiones Libres y Serdán, Puebla y localidades donde se establecieron los experimentos.....	28
Figura 2. Temperaturas mínima y máxima (°C) y precipitación pluvial (mm) en las localidades del estudio.....	29
Figura 3. Rendimiento promedio y estabilidad ambiental de las variedades en las localidades.....	30
III. GERMINACIÓN Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SEMILLAS DE MAÍZ DAÑADAS POR HELADA NATURAL Y ARTIFICIAL	
Figura 1. Porcentaje de plántulas normales (germinación) y al primero y segundo conteos y plántulas normales y semillas muertas al segundo conteo.....	51

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) ha sido ubicado por la FAO como el cultivo de mayor producción a nivel mundial (FAO, 2002); además, es la planta de mayor diversidad genética y tiene su origen en México (Vavilov, 1951), y es una de las especies vegetales más cultivadas en nuestro país (García y López, 2002). La agricultura mexicana pasa en estos momentos por condiciones difíciles de productividad debido a factores adversos como sequías y heladas; sin embargo, el maíz es un cultivo que tiene potencial para aumentar su rendimiento (Robles, 1983)

En los Valles Altos de México, el maíz se cultiva en ambientes desfavorables de clima. Las bajas temperaturas presentes en estas zonas pueden afectar significativamente el periodo vegetativo de la planta (Chávez *et al.*, 2005). Las temperaturas por debajo de 0 °C forman cristales de hielo en los espacios intercelulares (Humaní, 2005), proceso que es el que causa el daño en la planta, provocado por la baja temperatura (Levitt, 1980).

Las variedades nativas de maíz están adaptadas a las bajas temperaturas de Valles Altos, por la concentración de genes que al expresarse por la acción del ambiente hacen que la planta pueda crecer, vivir y reproducirse más eficientemente (Muñoz, 2005). En la adaptación al frío, se desarrollan procesos fisiológicos y bioquímicos inducidos por las bajas temperaturas, lo que implica un ajuste en el metabolismo y en la función celular, por lo que toleran más las bajas temperaturas (Neven *et al.*, 1992).

1.1 Planteamiento del problema

En México se siembran alrededor de ocho millones de hectáreas, de las cuales el 85 % de la producción se obtiene bajo condiciones de temporal, lo que resulta en una alta dependencia de las condiciones climáticas (SAGARPA, 2007b).

Los Valles Altos de México son afectados año con año por heladas tempranas y/o tardías causando daños a la agricultura. En México de acuerdo con la SAGARPA (2005) en el periodo 1995–2005 la superficie siniestrada por heladas representó el 1.2%. En el caso del estado de Puebla, en el año 2007, uno de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) con mayor incidencia de heladas fue el de Libres, representando el 1.7 % de la superficie siniestrada (SAGARPA, 2007a).

Las bases genéticas de la tolerancia al frío aún se siguen estudiando, ya que aún hace falta conocimiento para poder entender el comportamiento de las variedades, sobre todo las nativas, ante un fenómeno meteorológico como la helada durante alguna etapa de su desarrollo. Encontrar variedades nativas con cierto nivel de tolerancia será trascendente para poder incrementar la producción de maíz en los Valles Altos de Puebla y de México.

1.2 Objetivo general

Contribuir a la generación de conocimientos que conlleven a la solución de la problemática de la susceptibilidad de las semillas nativas de maíz a las heladas y seleccionar aquellas que muestren mayor tolerancia y mayor rendimiento.

1.2.1 Objetivos específicos

- Identificar las variedades nativas de maíz con mayor tolerancia a las heladas en base a rendimiento de grano en localidades con diferentes descensos de temperatura.
- Identificar las variedades nativas de maíz con mayor tolerancia a helada natural y artificial mediante pruebas de germinación estándar y conductividad eléctrica en laboratorio.

1.3 Materiales y Métodos

- Colecta de la semilla: se llevó a cabo en 24 localidades del Estado de Puebla y una del estado de Tlaxcala, en los meses de enero y febrero de 2007.
- Trabajo de campo en 2007: Establecimiento de los experimentos en las localidades de Santa Cruz Coyotepec, Santa Inés Borbolla y Emiliano Zapata.
- Trabajo de laboratorio: se realizaron pruebas para determinar la germinación estándar y la conductividad eléctrica de las semillas heladas.
- Toma de datos termopluviométricos en las localidades donde se establecieron los experimentos.
- Análisis estadístico: experimentos en campo, análisis de varianza combinado a través de localidades, prueba de medias de Tukey para las variables agronómicas utilizando el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 1999). Además, se identificó el 20 % superior, a fin de seleccionar las variedades más sobresalientes respecto a rendimiento en

condiciones de heladas. En laboratorio, análisis de varianza combinado a través de origen de la semilla, prueba de medias de Tukey para las variables de germinación estándar, peso de la semilla y conductividad eléctrica.

1.4 Organización de la tesis

Para resolver el problema de investigación, así como lograr el cumplimiento de los objetivos arriba planteados, los resultados se presentaran en dos capítulos, a manera de artículos científicos:

Capítulo II. Evaluación de variedades nativas de maíz en ambientes con heladas en Valles Altos de Puebla, México.

En este capítulo se presenta la evaluación de 61 variedades nativas y 3 mejoradas de maíz en tres localidades con presencia de helada natural durante el desarrollo del cultivo. La tolerancia de las variedades a las heladas se identificó mediante el mayor rendimiento de grano de las variedades y su mayor estabilidad a través de ambientes (Muñoz y Rodríguez, 1988).

Capitulo III. Germinación y conductividad eléctrica de semillas de maíz dañadas por helada natural y artificial.

En este capítulo se presenta la evaluación de la semilla de las variedades nativas y mejoradas de maíz afectadas por la helada natural en las tres localidades de experimentación en campo. Se

evaluó además semilla sometida a helada artificial en una cámara de crecimiento. La tolerancia de las variedades a las heladas se identificó mediante las pruebas de germinación estándar y conductividad eléctrica en la cámara de crecimiento. Se identificaron las 10 mejores variedades con mayor germinación estándar y menor conductividad eléctrica.

1.5 Referencias bibliográficas

Chávez, R; Schmidt, W; Martínez, K; Flores, J; Tamayo, H; Aduviri, M; Gutiérrez, G; Sufrá, V; Segovia, O y García, A. 2005. Espectro de variabilidad genética del germoplasma nativo de maíz (*Zea mays L.*) de la zona altoandina del sur del Perú. IDESIA Vol. N° 23.

FAO. 2002. Agricultura. Productos básicos. Sitio: www.fao.org (consultado el 3 de septiembre de 2010)

García P, A D y López C, C. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 25(4): 381-386.

Huamaní C, J C. 2005. Atlas de heladas. Dirección General de Información Agraria del Ministerio de Agricultura. Convenio de Cooperación Técnica Interinstitucional SENAMHI-MINAG. Información Agroclimática Oportuna. Lima, Perú. 37 p.

Levitt, J. 1980. Responses of Plant to Environmental Stresses. 2^{da} ed. Academic Press. USA. 497 p.

Muñoz O, A. 2005. Centli Maíz. 2^a ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 210 p.

Muñoz O, A, y Rodríguez O, J L. 1988. Models to evaluate drought resistance. *In*: Challenges in Dryland Agriculture. A Global Perspective. Proceedings of the International Conference on Dryland Agriculture, Texas Agricultural Experiment Station. Amarillo, TX. pp: 741-743.

Neven, L G, Haskell, D W; Guy, Ch L; Denslow, N; Klein, P A; Green, L G; Silverman, A. 1992. Association of 70-Kilodalton heatshock cognate proteins with acclimation to cold. *Plant physiol.* 99: 1362-1369.

Robles S, R. 1983. Producción de granos y forrajes. 4^a ed. Limusa. México, D.F. 608 p.

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2005. Programa del fondo para atender a la población rural afectada por contingencias climatológicas. México D.F.

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación. 2007a. Sistema agropecuario de captura (SIACAP). Puebla, Pue.

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación.

2007b. Tarjeta informativa para prensa. Acciones para la competitividad en maíz, frijol, caña de azúcar y leche. Aguascalientes, México.

SAS Institute. 1999. SAS Procedures Guide, Ver 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1643 p.

Vavilov, N I. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Selected writings of translated from the Russian by K. starr Chester, Ph. D. Chronica botanica. Vol. 13. 1949/50. Waltham, Mass. Xviii + 364 p.

**II. EVALUACIÓN DE VARIEDADES NATIVAS DE MAÍZ EN AMBIENTES CON
HELADAS EN VALLES ALTOS DE PUEBLA, MÉXICO**

**EVALUATION OF NATIVE MAIZE VARIETIES IN ENVIRONMENTS WITH
FROSTS AT HIGHLANDS OF PUEBLA, MÉXICO**

**Ricardo Pérez de la Luz¹, Higinio López Sánchez^{1*}, Pedro Antonio López¹, Abel Gil
Muñoz¹, Amalio Santacruz Varela², Juan de Dios Guerrero Rodríguez¹**

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Km.125.5 Carr. Fed. México-Puebla. Santiago Momoxpan, Cholula, Pue. C.P. 72760.

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. Fed. México-Texcoco. Montecillo, estado de México. C.P. 56230.

* Autor para correspondencia: higiniols@colpos.mx.

2.1 Resumen

En México la superficie sembrada con maíz es de ocho millones de hectáreas, de las cuales el 1.2 % es siniestrada por heladas. En el Estado de Puebla este porcentaje es de 0.8 % y en sus Valles Altos 1.7 %. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las heladas en el rendimiento de grano y seleccionar las variedades nativas con mayor rendimiento en ambientes con presencia de heladas. Para ello se evaluaron 61 variedades nativas y tres materiales mejorados mediante un diseño experimental látice simple 8 x 8 con dos repeticiones. Los experimentos se establecieron en tres localidades del estado de Puebla. Las fechas de siembra fueron el 30 de marzo en Emiliano Zapata, Cuyoaco, el 7 de abril en Santa Inés Borbolla, Chalchicomula de Sesma y el 4 de mayo en Santa Cruz Coyotepec, San Juan Atenco; estas localidades se caracterizan por ser de temporal y con presencia de heladas. El análisis de varianza combinado indicó que a pesar de que las heladas afectaron el rendimiento de grano de las variedades nativas y las mejoradas, hubo variedades como la CPue131, CPue448 y CPue134 que mostraron mayor rendimiento promedio y mayor estabilidad ambiental que las mejoradas. La prueba de medias para localidades en el análisis combinado indicó que Emiliano Zapata fue el ambiente menos afectado por las heladas, presentando 3,510 kg ha⁻¹.

Palabras clave: Bajas temperaturas, factores adversos, rendimiento de grano.

2.2 Summary

The area planted with maize in Mexico accounts for eight million hectares, of which 1.2 % is devastated by frosts. In Puebla State such a percentage is 0.8 % and 1.7 in its highlands. The objective of this study was to evaluate the effect of frosts on grain yield and to select maize landraces with greater grain yield in environments under that adverse factor. For doing that, 61 native varieties and three improved materials were evaluated under a simple 8 x 8 lattice experimental design with two replications. Experiments were established at three localities of Puebla State and the planting dates were March 30th at Emiliano Zapata, Cuyoaco, April 7th at Santa Ines Borbolla, Chalchicomula de Sesma and May 4th at Santa Cruz Coyotepec, San Juan Atenco, all of them characterized by rainfed conditions and with frost incidence. The combined analysis of variance indicated that despite frosts decrease grain yields of landraces and improved varieties, there were some landraces as CPue131, CPue448 y CPue134 that had greater average yield and more stability between localities than improved ones. Localities mean test from combined analysis showed that Emiliano Zapata was less affected by frosts, whose grain yield was 3,510 kg ha⁻¹.

Key words: Low temperatures, adverse factors, grain yield.

2.3 Introducción

El maíz constituye el alimento básico de mayor importancia en México. Datos de la SAGARPA (2007b) indican que la producción promedio para el año 2007 fue de 21 millones de toneladas en una superficie de aproximadamente ocho millones de hectáreas. La misma fuente reporta que el 85 por ciento de la producción se obtiene en condiciones de temporal, lo que resulta en una alta dependencia de las condiciones climáticas. Al respecto Barrales *et al.* (2002) mencionan que en las regiones templadas de México la estación de crecimiento es corta, y que la escasa precipitación y las bajas temperaturas son factores críticos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, particularmente en los Valles Altos.

En México, de acuerdo con la SAGARPA (2005), en el periodo 1995–2005 la superficie siniestrada por heladas representó el 1.2 %. En el caso del estado de Puebla la superficie afectada por heladas en 2007 fue de 4,350 ha, que representaron el 0.8 % (SAGARPA, 2007a). En este Estado uno de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) con mayor incidencia de heladas es el de Libres, donde la superficie siniestrada alcanzó las 1970 hectáreas en 2007, que representaron el 1.7 % del total sembrado (SAGARPA, 2007a).

La helada ocurre cuando la temperatura del aire desciende a niveles críticos para los cultivos, sin llegar necesariamente a los 0° C (Huamaní, 2005). Si la temperatura es bajo cero se formaran cristales en el interior de la célula, causando daños mecánicos y destrozando su estructura física (Calderón, 1998), lo que también resulta en la alteración de diversos procesos bioquímicos y fisiológicos (Ding *et al.*, 2001). La temperatura mínima y umbral requerido por el maíz es de 0.5

y 10° C, respectivamente (Wang, 1980, citado por Grassi, 1983); de hecho a este cultivo se le caracterizó como poco resistente a las heladas (Ventskevich, 1961).

Para hacer frente a los daños causados por las heladas se ha trabajado en diferentes direcciones, una de ellas, el fitomejoramiento. En México, uno de los primeros trabajos en consignar información al respecto fue el de Muñoz y González (1976); ellos trabajaron con cinco sintéticos tolerantes a frío (derivados de líneas de la colección Michoacán- 21) y encontraron que éstos (particularmente de los tres primeros ciclos de selección) presentaron ganancias en rendimiento respecto a la población original, indicando que la selección por tolerancia a frío resultó satisfactoria. En un trabajo posterior, Palacios (1985) reportó que hubo diferencias en la resistencia al frío entre los híbridos de temporal y los de riego y que los híbridos H-27 y H-28 fueron los que presentaron mayor tolerancia al frío. En años posteriores, Barrales (1997) reportó que la asociación maíz-frijol podría ser una alternativa para regiones con heladas; también, Barrales *et al.* (2002), trabajando con los híbridos de maíz H-28, H-30, H-32, CPV20, Zac-58 SMC15, y Zac-58 Or, concluyeron que no hubo diferencias en la tolerancia al frío entre genotipos, y que la muerte total de las plantas ocurrió a temperaturas de -0.4 y -0.7° C. No obstante lo anterior, son escasos los trabajos que documenten los efectos de las heladas en poblaciones nativas de maíz, motivo por el cual se planteó la presente investigación, con el objetivo de valorar el comportamiento de poblaciones nativas de maíz en ambientes con alta incidencia de heladas en el estado de Puebla, específicamente en el DDR 04 Libres.

2.4 Materiales y métodos

2.4.1 Localidades de evaluación

La investigación se condujo en tres localidades del DDR 04 Libres, Puebla: Santa Cruz Coyotepec, municipio de San Juan Atenco; Santa Inés Borbolla, municipio de Chalchicomula de Sesma y Emiliano Zapata, municipio de Cuyoaco. Las coordenadas geográficas respectivas son 19° 01' 22'' LN, 97° 33' 36'' LO y 2429 msnm; 19° 00' 19'' LN, 97° 29' 21'' LO y 2483 msnm; 19° 37' 00'' LN, 97° 33' 49'' LO y 2489 (Figura 1).

El Servicio Meteorológico Nacional (Conagua, 2008 a, b y c) en el periodo 1971-2000 muestra la distribución de las temperaturas mínimas y precipitación pluvial promedio mensual y anual. (Cuadro 1). Las temperaturas mínimas promedio han sido más bajas en Santa Cruz Coyotepec y Emiliano Zapata. Sin embargo, no es posible ver el número de años con presencia de heladas debido a que las temperaturas son mínimas promedio.

2.4.2 Material Genético

Se utilizaron 64 variedades de maíz, de las cuales 61 fueron nativas. Los testigos fueron tres variedades recomendadas para la región: híbridos Aspros 722 y Gavilán, y el Sintético Serdán. Las poblaciones de las variedades nativas se colectaron en los estados de Puebla y Tlaxcala, con productores que tradicionalmente siembran variedades nativas de maíz en presencia de factores adversos, principalmente heladas.

2.4.3 Diseño y unidad experimental

Se empleó un diseño experimental látice simple 8 x 8, con dos repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por dos surcos de 5 m de largo y 80 cm de ancho. Se sembraron 11 matas por surco, a una distancia de 50 cm, depositando tres semillas por mata para posteriormente dejar dos plantas por mata.

2.4.4 Conducción de los experimentos

Los experimentos se establecieron en diferentes fechas con el objeto de aumentar las posibilidades de afectación por una helada natural tardía y/o temprana. En la localidad de Emiliano Zapata la siembra se realizó el 30 de marzo de 2007, en Santa Inés Borbolla el 7 de abril, y en Santa Cruz Coyotepec el 4 de mayo. En las tres localidades la siembra se realizó manualmente, procurando depositar la semilla en suelo húmedo (siembra a “busca-jugo”). La fórmula de fertilización aplicada fue la 140-50-00, recomendada por INIFAP (1997). En la primera labor se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo, y en la segunda, el resto del nitrógeno. El manejo de los experimentos fue el que tradicionalmente realizan los agricultores en su parcela.

2.4.5 Variables evaluadas

Las variables que se midieron fueron: días transcurridos al 50 % de floración masculina (DFM), días transcurridos al 50 % de floración femenina (DFF), asincronía floral (AF) (DFM - DFF),

altura de planta (ALP) (en cm, midiendo desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga), altura de mazorca (ALM) (en cm, midiendo desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca), aspecto de mazorca (ASPM) (mediante una calificación visual, en una escala de valores de 1 a 5, con incrementos de 0.5 unidades, donde 1 correspondió a plantas con mejor aspecto y 5 a las de peor aspecto), factor de desgrane (FD) (peso de grano/peso de mazorca) y rendimiento de grano por hectárea (RHA) (expresado en kg ha^{-1} y ajustado al 14 % de humedad). Adicionalmente en cada una de las parcelas donde se sembraron los experimentos, se estableció un termómetro de máximas y mínimas y un pluviómetro de acumulación semanal (Barrales y Muñoz, 1983), para registrar *in situ* la temperatura y la lluvia ocurrida por semana.

2.4.6 Análisis estadístico

Las variables se sometieron a un análisis de varianza por localidad, y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey (con $\alpha= 0.05$) a las variedades. También se practicó un análisis de varianza combinado para cuantificar la interacción genotipo ambiente; todo ello empleando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999).

2.5 Resultados y discusión

2.5.1 Variables termopluviométricas

La Figura 2 muestra el comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas y de la precipitación pluvial en Santa Cruz Coyotepec, Santa Inés Borbolla y Emiliano Zapata, Puebla,

durante el periodo en el cual se llevó a cabo la investigación. En Santa Cruz Coyotepec se observó la incidencia de seis heladas, la primera a los 154 y la segunda a los 168 días después de la siembra (DDS), ambas con una temperatura mínima de -1°C ; las otras cuatro ocurrieron a los 189, 196, 203 y 210 DDS el 5, 11, 18 y 25 de noviembre, con temperaturas de -8 , -7 , -8 y -8°C , respectivamente. En Santa Inés Borbolla hubo cinco, la primera el 29 de septiembre y la segunda el 13 de octubre de 2007, ambas de 0°C ; las otras tres heladas ocurrieron los días 5, 11 y 18 de noviembre con temperaturas de -7 , -6 y -6°C , respectivamente. En estas mismas tres últimas fechas ocurrieron tres heladas en Emiliano Zapata con temperaturas mínimas de -7 , -6 y -8°C . En la misma localidad la temperatura mínima fue menos extrema durante el desarrollo del cultivo, en comparación con las dos anteriores localidades, registrándose 2°C el 15 de julio y 29 de septiembre. Siguiendo el orden de las localidades, la precipitación pluvial durante el periodo de cultivo fue de 465, 374 y 473 mm, respectivamente, con una distribución un tanto irregular, observándose un máximo a los 120, 146 y 147 DDS, respectivamente. En la misma figura se ha marcado el periodo de floración femenina de las variedades del estudio, el cual abarcó de los 84 a los 115 en Santa Cruz Coyotepec, de los 118 a los 154 en Santa Inés Borbolla y de los 142 a los 175 DDS en Emiliano Zapata.

Los aspectos que se pueden resaltar de la Figura 2 son 1) que durante el periodo de floración hubo descensos en la precipitación, que por lo general afecta más a los materiales de ciclo tardío, al reducir el número y tamaño de los granos, 2) fue durante el llenado de grano cuando se tuvieron las dos primeras heladas, las cuales coincidieron con momentos en los que también hubo una disminución de lluvia, 3) que en el último mes previo a la cosecha ocurrieron cuatro heladas más en las dos primeras localidades y tres en la tercera localidad, no obstante debido a

que para entonces el cultivo ya había alcanzado madurez fisiológica, el efecto sobre el rendimiento fue menor.

En este estudio, las heladas en la etapa de llenado de grano fueron las que realmente causaron disminuciones en el rendimiento del cultivo, excepto en la localidad de Emiliano Zapata, donde se registró un rendimiento promedio de 3,510 kg ha⁻¹ (Cuadro 3). En Santa Inés Borbolla la producción bajó un 7.5 % con respecto a Emiliano Zapata y 31.6 % en Santa Cruz Coyotepec. Con base en los factores termopluviométricos, Emiliano Zapata fue la localidad que se consideró más favorable y Santa Cruz Coyotepec la menos favorable.

2.5.2 Análisis estadístico

El análisis de varianza combinado (Cuadro 2) evidencia que hubo diferencias altamente significativas entre localidades y entre variedades para todas las variables, no así para la interacción de ambos factores, a excepción de las variables ASPM y RHA; la interacción en estos dos casos implica que cuando menos uno de los ambientes de producción resultó estadísticamente diferente a los demás. La no significancia en la mayoría de las interacciones denota que las respuestas de los genotipos en estudio se mantuvieron a través de ambientes, lo que en el futuro podría facilitar la recomendación de genotipos para la región Libres-Serdán, Puebla.

La prueba de medias para localidades en el análisis combinado (Cuadro 3) muestra que Emiliano Zapata fue el ambiente más favorable en cuanto a rendimiento de grano. También se observa que

en esta localidad las poblaciones tuvieron los valores más bajos de altura de planta y mazorca, aunque en promedio resultaron ser más tardías. Santa Inés Borbolla y Santa Cruz Coyotepec, por el contrario, fueron ambientes donde el rendimiento se abatió en comparación con Emiliano Zapata, a pesar de que las mazorcas tuvieron un mejor aspecto y mayor factor de desgrane, además de que las plantas fueron de mayor porte y precocidad. El mayor rendimiento en Emiliano Zapata podría atribuirse al hecho de que fue poco afectado por las heladas, ya que estas ocurrieron una vez concluido el período de llenado de grano, a diferencia de Santa Inés Borbolla y Santa Cruz Coyotepec, donde los descensos de las temperaturas mínimas coincidieron con la fase ya mencionada.

A pesar de que las heladas afectaron el rendimiento de las variedades, fue posible encontrar diferencias en el rendimiento de las variedades (Cuadro 4). Destaca el hecho que un grupo de 11 variedades nativas superaron a las testigo. El rendimiento de la mejor de ellas (CPue131) superó casi con 900 kg al mejor testigo (híbrido Aspros 722), lo que representa un potencial para generar variedades con mayor resistencia a heladas que las variedades comerciales. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Muñoz *et al*, (1998) y por Muñoz (2005) en el sentido de que en los nichos ecológicos, particularmente en aquellos con condiciones ambientales más restrictivas, los maíces criollos igualan o superan en rendimiento a las variedades mejoradas debido a su mejor adaptación, alcanzada a lo largo de muchos años. El buen rendimiento del Sintético Serdán puede explicarse en base a que este material fue obtenido a partir de poblaciones nativas de un área cercana (Gil *et al*, 2007).

En el mismo Cuadro 4 se presentan las otras variables evaluadas. Puede observarse que sus

valores son muy similares tanto en las variedades nativas como en las mejoradas. Sólo en altura de planta (ALP) y (ALM) altura de mazorca y en factor de desgrane (FD) los valores fueron mayores en las variedades nativas, lo que pudo haber contribuido al mayor rendimiento de éstas. El único aspecto en que el híbrido fue sobresaliente fue en el aspecto de mazorca (ASPM). Los días a floración femenina (DFF) indicaron que las variedades fueron de ciclo intermedio. Estos resultados indican que los materiales genéticos con características de ciclo intermedio se desarrollan mejor en ambientes con heladas, contribuyendo de esa forma a un mayor rendimiento de grano.

Muñoz (2005) ha planteado que cuando se trabaja con poblaciones nativas es factible aplicar los modelos de selección 1 y 2 (Muñoz y Rodríguez, 1988). En este sentido, y con el propósito de analizar las interacciones observadas para rendimiento de grano, se procedió a graficarlas y seleccionar las variedades más rendidoras y de mayor estabilidad ambiental. Se observa que varias poblaciones nativas como CPue131, CPue448 y CPue134 mostraron rendimientos más estables a través de ambientes que Aspros 722 y Sintético Serdán, aunque hubo algunas como CPue438 y CPue444 que interaccionaron más con el ambiente (Figura 3). Se observa también que la mayoría de las variedades nativas, Aspros 722 y Sintético Serdán se desarrollaron mejor en condiciones ambientales favorables, con excepción de la variedad CPue448 que mostró un comportamiento sobresaliente en ambientes con heladas.

2.6 Conclusiones

- a). La incidencia de heladas fue diferente en las tres localidades, siendo Santa Cruz Coyotepec la más afectada, por el mayor número e intensidad de las heladas y porque además éstas se presentaron antes en la etapa de llenado de grano.
- b). Las heladas afectaron el rendimiento de grano ya que éste disminuyó conforme la cantidad e intensidad de éstas se incrementó; por esta razón los rendimientos de las variedades fueron menores en Santa Cruz Coyotepec.
- c). Las variedades nativas presentaron menor interacción entre las localidades, ya que su rendimiento se vio menos afectado en comparación con las variedades mejoradas, por lo que podemos decir que fueron menos dañadas por las heladas.
- d). Dentro del grupo de variedades nativas, las de mayor rendimiento presentaron precocidad intermedia, característica que pudo haber evitado un mayor daño durante el llenado de grano de éstas variedades.
- e). La variedad CPue-131 fue la de mayor rendimiento promedio, las variedades CPue-131, CPue-448 y CPue-134 fueron las de menor interacción entre localidades, mientras que la variedad CPue-448 fue la de mayor rendimiento en la localidad de mayor incidencia de heladas. Todas estas variedades deben ser consideradas en estudios fisiológicos y moleculares que traten de descubrir si existen mecanismos de tolerancia a heladas en éstas variedades de maíz.

2.7 Agradecimientos

A la Coordinación Sectorial de Desarrollo Académico (COSDAC), por el financiamiento para llevar a cabo la investigación. A César del Ángel Hernández Galeno, René Hortelano Santa Rosa y Gregorio Alvarado Beltrán por su participación en la colecta de semilla y trabajo de campo. A Rocío Toledo Aguilar y Nayeli Itzel Carreón Herrera por su apoyo durante el trabajo de campo. A Bladimir Jordán Aguilar por su apoyo en la elaboración de las figuras.

2.8 Referencias bibliográficas

- Barrales D, J S; Livera M, M; González H, V A; Peña V, C; Kohashi-Shibata, J y Castillo G, F. 2002. Relaciones térmicas en el sistema suelo-planta-atmósfera durante la incidencia del fenómeno de enfriamiento o helada. *Revista Fitotecnia Mexicana (México)* 25(3): 289-297.
- Barrales D, J S. 1997. La asociación maíz-frijol, como alternativa para agricultura con problemas de heladas. *Agronomía Mesoamericana (Costa Rica)* 8(2): 121-126.
- Barrales D, J S y Muñoz O, A. 1983. Uso de datos de precipitación acumulativa y de temperaturas extremas semanales. *In: Memoria del VIII Congreso Nacional de Fitogenética*. SOMEFI. Chapingo, Méx. pp. 279-288.
- Calderón A, E. 1998. *Fruticultura General*. 3^{ra} ed. Editorial Limusa México D.F. 763 p.

Conagua.2008a. Datos históricos de temperatura mínima en Santa Cruz Coyotepec, Puebla, México. *In:* <http://www.smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/pue/NORMAL21081.TXT>
(Consultado el 10 de Septiembre de 2008).

Conagua.2008b. Datos históricos de temperatura mínima en Santa Inés Borbolla, Puebla, México. *In:* <http://www.smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/pue/NORMAL21026TXT>
(Consultado el 10 de Septiembre de 2008).

Conagua. 2008c. Datos históricos de temperatura mínima en Emiliano Zapata, Puebla, México. *In:* <http://www.smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/pue/NORMAL21129TXT>
(Consultado el 10 de Septiembre de 2008).

Ding C, C; Wang, Y, Gross, K C; and Smith, D L. 2001. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Sci. (Canadá)* 161:1153-1159.

Gil M, A, López, P A; López S, H y Taboada G, O R. 2007. El fitomejoramiento: una opción tecnológica para la agricultura de subsistencia. *In:* Martínez R, R; Ramírez V, B y Rojo M, G E. (Coord.) Estudios y Propuestas para el Medio Rural. Universidad Autónoma Indígena de México y Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Puebla, Pue. pp. 113-136.

- Grassi C, B A. 1983. Riesgo de primeras y últimas heladas en Puebla y Tlaxcala respecto a los cultivos básicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mex. 120 p.
- Huamaní C, J C. 2005. Atlas de Heladas. Dirección General de Información Agraria del Ministerio de Agricultura. Convenio de Cooperación Técnica Interinstitucional SENAMHI-MINAG. Información Agroclimática Oportuna. Lima, Perú. 37 p.
- INIFAP. 1997. Guía para la asistencia técnica agrícola. 3ª ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Tecamachalco, Puebla, Méx. 374 p.
- Muñoz O, A. 2005. Centli Maíz. 2ª ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 210 p.
- Muñoz O, A y González H, V A. 1976. Mejoramiento de maíz en el CIAMEC. IV. Obtención de sintéticos resistentes a sequía y heladas. *In*: Memoria del Sexto Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey, N. L. pp. 131-147.
- Muñoz O, A y Rodríguez O, J L. 1988. Models to evaluate drought resistance. *In*: Challenges in Dryland Agriculture. A Global Perspective. Proceedings of the International Conference on Dryland Agriculture. Agricultural Experiment Station, Amarillo, TX. pp: 741- 743.

- Muñoz O, A; Santacruz V, A; Olvera H, J H; Taboada G, O R y Cuevas S, J A. 1998. Diversidad de maíz en los nichos ecológicos y culturales de México. Serie: Didáctica de la Etnobotánica núm. 1. UACH. Chapingo, estado de México. pp: 283-297.
- Palacios de la R, G. 1985. Mejoramiento del maíz en México. Revista Chapingo (México) 47-49: 9-43.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2005. Programa del fondo para atender a la población rural afectada por contingencias climatológicas. México D.F.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación. 2007a. Sistema agropecuario de captura (SIACAP). Puebla, Puebla, México.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación. 2007b. Tarjeta informativa para prensa. Acciones para la competitividad en maíz, frijol, caña de azúcar y leche. Aguascalientes, México.
- SAS Institute. 1999. SAS Procedures Guide, Ver 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1643 p.
- Ventskevich, G Z. 1961. Agrometeorology. Vol. 1. Traducido del ruso. National Science Foundation. Washington, D.C. 300 p.

2.9 Cuadros y figuras

Cuadro 1. Temperaturas mínimas normales y precipitación pluvial promedio mensual y anual, periodo 1971-2000.

Loc	Temperatura mínima promedio (°C)												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
SCC	-1.4	0.4	2.7	5.1	6.2	7.7	6.3	6.8	6.9	4.6	1.5	-0.6	3.9
SIB	2.6	4.5	6.9	7.8	8.4	7.5	7.3	7.3	7	5.9	4.1	2.6	6
EZ	0.7	1.9	3.8	5.7	6.4	7.3	6.6	6.3	6.5	4.8	2.6	1.3	4.5

Loc	Precipitación pluvial promedio (mm)												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
SCC	8.5	11.8	16.5	41.8	84.3	130.5	76.7	97.7	91.4	44.8	14.5	5.6	624.1
SIB	5.2	11.4	17	41.8	106.6	150.1	111.8	104.8	130.5	43	10.8	2.2	735.6
EZ	9.3	9.3	17	34	83.2	84.8	63.3	53.3	76.3	50	10.7	6.6	497.8

LOC: Localidad. Fuente: SCC: Santa Cruz Coyotepec (Conagua, 2008 a), SIB: Santa Inés Borbolla (Conagua, 2008 b), EZ: Emiliano Zapata (Conagua, 2008 c).

Cuadro 2. Cuadros medios (CM), su significancia y coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza combinado a través de localidades.

Variable	Cuadros Medios				
	Localidades	Genotipos	Loc x Gen	Error	CV (%)
Días a floración masculina	21495 **	80.60 **	11.00 ns	10.59	2.9
Días a floración femenina	25575 **	153.80 **	11.56 ns	11.11	2.8
Asincronía floral	637 **	24.50 **	11.00 ns	13.63	47.8
Altura de planta	8.80 **	0.06 **	0.03 ns	0.02	9.1

Altura de mazorca	9.00 **	0.06 **	0.01 ns	0.01	13.4
Aspecto de mazorca	2.00 **	0.40 **	0.38 **	0.2	16.0
Factor de desgrane	0.03 **	0.001 **	0.005 ns	0.0004	2.5
Rendimiento kg ha ⁻¹	430632 **	154706 **	862789 **	52479	23.7

*: Diferencias significativas (p=0.05), **: Diferencias altamente significativas (p=0.01), ns: Diferencias no significativas.

Cuadro 3. Prueba de medias del análisis combinado para localidades.

Variables	Localidades			DMS
	Zapata	Borbolla	Coyotepec	
Días a floración masculina	123 a	101 b	100 c	0.96
Días a floración femenina	132 a	111 b	105 c	0.98
Asincronía floral	8.7 b	9.2 a	5.1 b	1.09
Altura de planta	1.57 c	1.71 b	2.08 a	0.04
Altura de mazorca	0.85 c	0.91 b	1.33 a	0.04
Aspecto de mazorca	2.71 b	2.83 b	2.97 a	0.13
Factor de desgrane	0.846 c	0.878 a	0.857 b	0.006
Rendimiento kg ha ⁻¹	3510 a	3251 b	2401 c	214.06

Medias con la misma letra en las hileras son estadísticamente iguales.

Cuadro 4. Prueba de medias del análisis combinado para variedades que constituyeron el grupo superior (17 %).

Variedades	Variables						
	RHA♦	DFP	AF	ALP	ALM	ASPM	FD
CPue131	4135 a	117 p	10 b	1.74 c	0.92 d	2.5 b	0.85 f

CPue465	3995 b	115 ñ	10 b	1.78 c	0.98 d	2.5 b	0.87 f
CPue028	3859 c	116 ñ	7 b	1.98 a	1.2 c	2.5 b	0.85 f
CPue116	3776 d	110 i	7 b	1.78 c	0.99 d	2.5 b	0.85 f
CPue448	3759 d	113 m	6 b	1.89 c	1.02 d	2.5 b	0.87 e
CPue032	3753 d	110 h	5 b	1.8 c	0.99 d	2.6 b	0.88 d
CPue088	3702 d	125 s	8 b	1.78 c	0.97 d	2.7 b	0.85 f
CPue438	3671 d	120 r	7 b	1.99 a	1.23 b	2.6 b	0.83 f
CPue444	3669 d	119 q	8 b	1.91 c	1.11 c	2.6 b	0.85 f
CPue447	3585 d	117 p	6 b	1.73 c	1.17 c	2.5 b	0.84 f
CPue134	3563 d	107 a	4 b	1.72 c	0.92 d	2.2 a	0.86 f
Aspros 722	3239 d	113 m	8 b	1.52 d	0.69 e	2.1 a	0.84 f
Sint. Serdán	3128 e	114 n	6 b	1.83 c	1.02 d	2.8 b	0.83 f
▼Promedio	3054	115.8	7.1	1.8	1.0	2.6	0.9

◆El nombre de las variables está en la sección de variables evaluadas de Materiales y Métodos. Medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales.

▼Rendimiento promedio de las 64 variedades, y promedio del grupo superior de cada una de las 6 variables restantes.

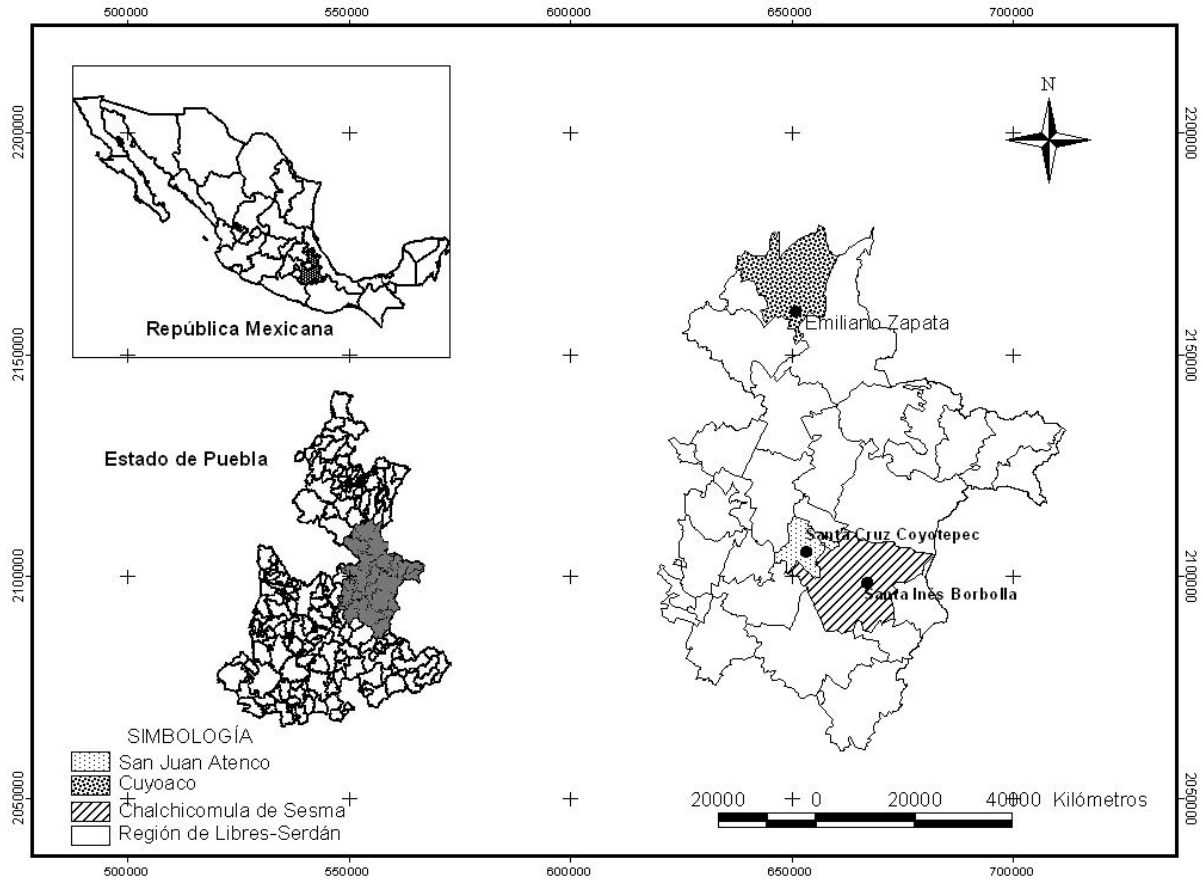
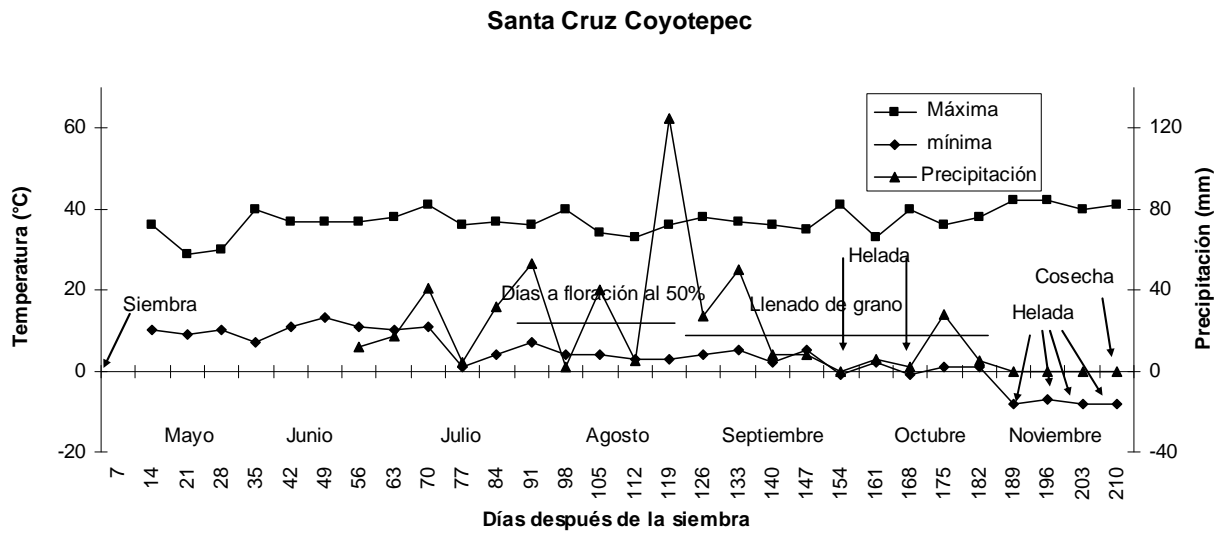


Figura 1. Ubicación de las regiones Libres y Serdán, Puebla y localidades donde se establecieron los experimentos.



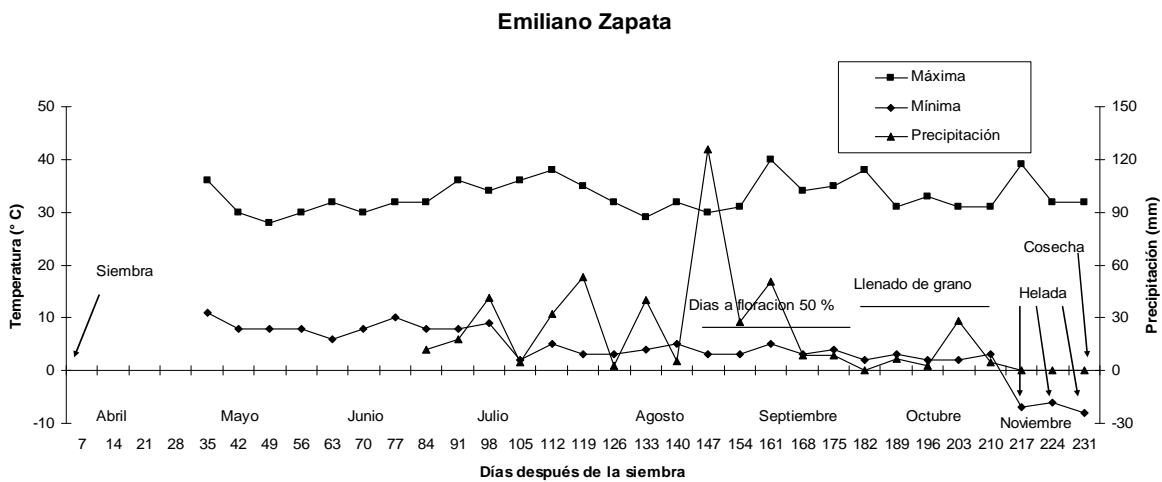
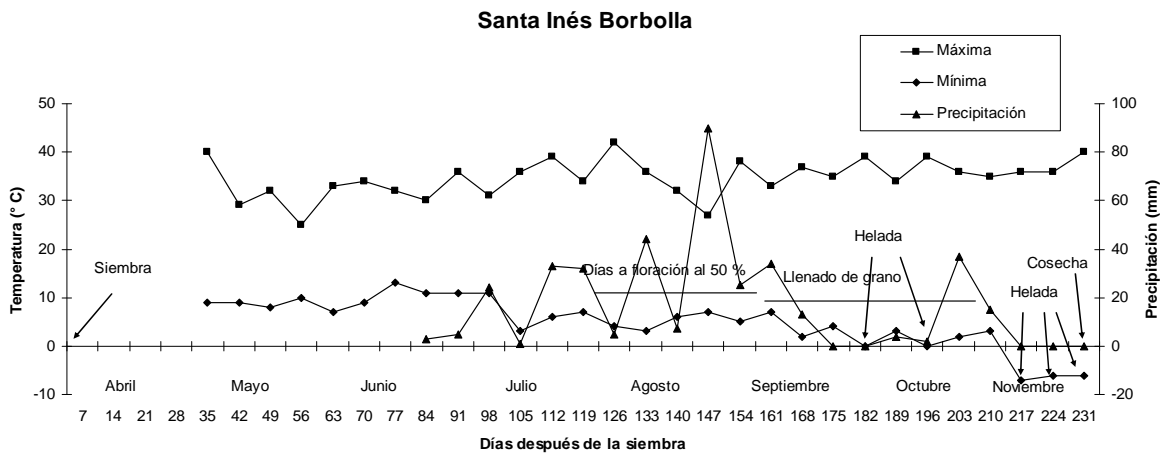


Figura 2. Temperaturas mínima y máxima (°C) y precipitación pluvial (mm) en las localidades del estudio.

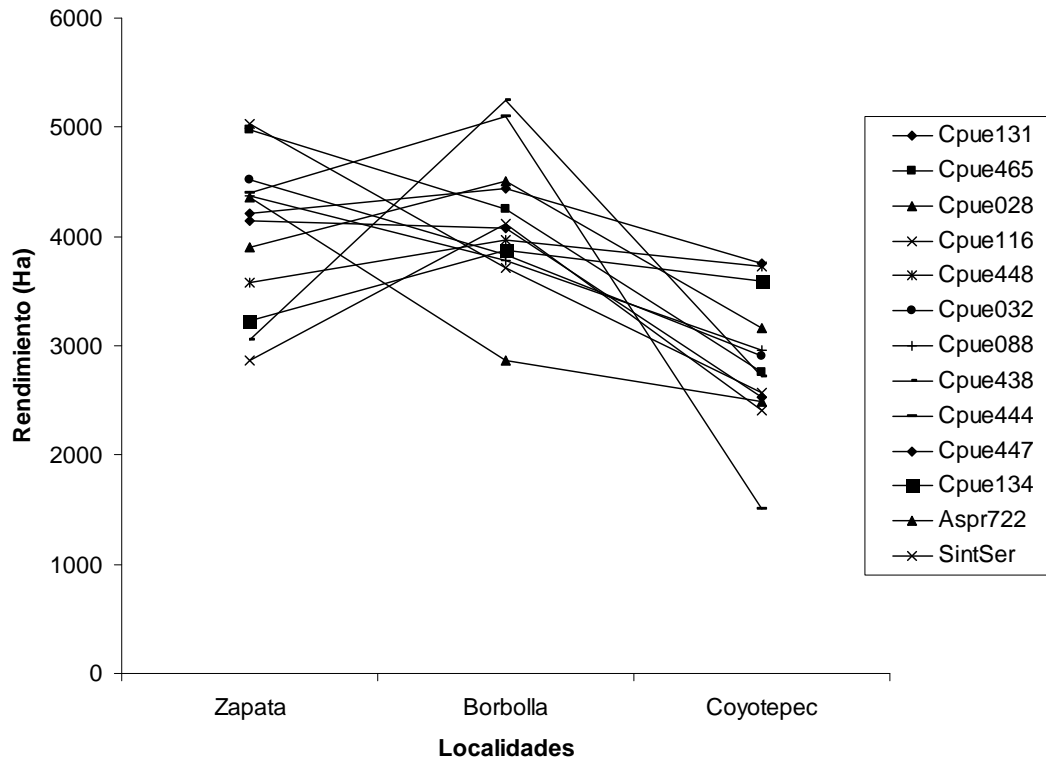


Figura 3. Rendimiento promedio y estabilidad ambiental de las variedades en las localidades.

**III. GERMINACIÓN Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SEMILLAS DE MAÍZ
DAÑADAS POR HELADA NATURAL Y ARTIFICIAL**

**ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND GERMINATION OF MAIZE SEEDS INJURED
BY ARTIFICIAL AND NATURAL FROST**

**Ricardo Pérez de la Luz¹, Higinio López Sánchez^{1*}, Pedro Antonio López¹, Abel Gil
Muñoz¹, Amalio Santacruz Varela²**

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Km.125.5 Carr. Fed. México-Puebla. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Pue. C.P. 72760

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. Fed. México-Texcoco Montecillo, estado de México. C.P. 56230

* Autor para correspondencia (higiniols@colpos.mx)

3.1 Resumen

El 1.1 % del total de la superficie sembrada con maíz en Puebla es dañada por las heladas, y en los Valles Altos de este estado el porcentaje es 1.6, lo cual reduce la producción de grano. El objetivo de esta investigación fue evaluar la tolerancia a las heladas en variedades nativas de maíz en la etapa de desarrollo de la semilla (EDS). Se aplicó helada artificial a semilla de 64 variedades producida en Huejotzingo, Puebla, la cual fue sometida a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en una cámara de crecimiento. Semilla de las mismas variedades fue sometida a helada natural al ser producida en tres localidades del estado de Puebla, caracterizadas por la presencia de heladas naturales durante la EDS. Las localidades donde hubo dos heladas durante EDS fueron Santa Cruz Coyotepec con $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y Santa Inés Borbolla con $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; en Emiliano Zapata la temperatura descendió sólo a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para medir la tolerancia a las heladas se evaluó la germinación y el vigor y la conductividad eléctrica de las semillas sometidas a los diferentes descensos de temperatura durante su desarrollo. Las bajas temperaturas disminuyeron la germinación y el vigor de la semilla tanto en las variedades nativas como en las mejoradas, daño que se intensificó con la presencia de éstas en etapas tempranas en el desarrollo de la semilla. Las variedades nativas CPue074 y CPue079 presentaron los mayores niveles en ambas variables, lo que podría indicar cierto nivel de tolerancia a las heladas. El daño a la semilla se observó también en un incremento en la conductividad eléctrica durante la imbibición. No obstante, también en este caso se encontraron variedades nativas como la CPue090 y CPue079 con bajos niveles de conductividad eléctrica, lo cual indica cierto nivel de tolerancia a las heladas. La variedad nativa CPue079 mostró mayor consistencia en ambas pruebas, por lo que puede ser considerada como tolerante a las heladas,

característica que deberá corroborarse mediante técnicas bioquímicas y moleculares enfocadas al embrión y membrana celular.

Palabras clave: *Zea mays* L., vigor, resistencia a frío, recursos genéticos, maíces criollos

3.2 Summary

1.1 % of total area planted with maize in Puebla State is affected by frosts, and in the highlands of this state that percentage is 1.6, which decreases grain yield. The aim of this research was to evaluate maize landraces frost tolerance in seed development stage (SDS). Artificial frost was applied to seed of 64 maize landraces produced at Huejotzingo, Puebla, which was subjected to -2 °C in a plant growth chamber. Seed of same varieties was subjected to natural frost by producing them at three localities of Puebla State, distinguished by natural frosts presence during SDS. The localities where there were two frosts were Santa Cruz Coyotepec with -1 °C and Santa Inés Borbolla con 0 °C; temperature dropped just to 2 °C at Emiliano Zapata. Seed germination and vigor and electrical conductivity were evaluated to measure frost tolerance in seeds subjected to different temperature drops during their development. Low temperatures decreased seed germination and vigor of both maize landraces and improved ones, damage that was intensified by presence of these in early stages of seed development. Landraces CPue074 and CPue079 showed the higher levels in both variables, which could suggest some level of frost tolerance. Seed damage was observed too by an increment of electrical conductivity during imbibitions. Nevertheless, in this case too were found landraces as CPue090 and CPue079 with low levels of electrical conductivity, which suggest some level of frost tolerance. Landrace

CPue079 showed high consistence to both tests, then it could be considered as tolerant to frosts, characteristic that should be strengthen by molecular and biochemical techniques focused to germen and cellular membrane.

Key Words: *Zea mays* L., vigor, frost tolerance, genetic resources, maize landraces.

3.3 Introducción

De acuerdo con datos de la SAGARPA (2007), en México el 85 % de la producción agrícola se obtiene bajo condiciones de temporal, lo que implica una alta dependencia de las condiciones climáticas. En el caso de la agricultura de Valles Altos, los factores ambientales más críticos son las sequías y las bajas temperaturas (Barrales *et al.*, 2002). Según Huamaní (2005), cuando la temperatura del aire desciende a 0° C o menos, se tiene un fenómeno meteorológico conocido como helada, cuyo efecto en la planta puede ser medido en la etapa en que se presente, ya sea en plántula, durante el desarrollo vegetativo previo a la floración, durante la etapa reproductiva, durante el llenado de grano, o posterior a éste.

En los Valles Altos, la mayor frecuencia de las heladas es durante el desarrollo del grano o la semilla, lo cual puede afectar su rendimiento y calidad, debido a que la helada puede causar daño a las membranas y a los organelos de las células de la semilla, particularmente las del embrión en desarrollo. La tolerancia puede ser observada durante la germinación de la semilla helada, ya que las variedades tolerantes tendrán menor conductividad eléctrica (menor daño a la membrana) y mayor germinación y vigor (menor daño al embrión). Por esa razón es que es factible medir la

tolerancia a las heladas en las variedades de maíz mediante la cuantificación del efecto que éstas tengan en la calidad de la semilla producida en ambientes con presencia de heladas durante su desarrollo.

De acuerdo con Pereyra *et al.* (2002), cuando ocurre una helada se presentan cambios bioquímicos, físicos, mecánicos y fisiológicos en la semilla que resultan en la pérdida de germinación y vigor, y por tanto, afectan la calidad de las mismas. La intensidad de tales cambios depende, entre otras cosas, de si la helada se presenta al inicio, a la mitad o al final de la etapa de desarrollo de la semilla (Hartwigsen, 1999). El menor daño ocurre al final ya que el contenido de humedad en la semilla es menor. Al respecto, Bewley y Black (1994) han reportado que cuando las semillas maduran y se deshidratan se someten a una serie de cambios fisiológicos y bioquímicos que confieren tolerancia al daño por helada, cambios que están determinados por la constitución genética de las variedades (DeVries *et al.*, 2007), lo que posibilita el encontrar diferentes niveles de tolerancia a las heladas en maíz.

Uno de los pocos trabajos en los que se condujo una evaluación de daño por heladas en semillas de maíz es el de DeVries *et al.* (2007), quien trabajó con semillas de dos genotipos híbridos (B73 × IRF311 y Mo17 × IRF311) a los cuales les aplicó un tratamiento artificial de heladas y determinó los daños de acuerdo con los contenidos de humedad. El tratamiento de helada artificial disminuyó significativamente la viabilidad y el vigor de la semilla de B73 × IRF311; el genotipo Mo17 x IRF311 mostró menos susceptibilidad a las heladas.

En un trabajo de resistencia a heladas en producción de grano de maíz Castellón y Muñoz (1990)

usaron las variedades Perla Blanco, Perla Amarillo, H-28, Tlaxcala A, Tlaxcala M y Tlaxcala S; los autores encontraron que las variedades Tlaxcala A, H-28 y Tlaxcala M fueron las de mayor resistencia.

Dado que en México son escasos los trabajos que documentan la tolerancia o susceptibilidad de las variedades nativas de maíz al daño por heladas, mediante la determinación de la conductividad eléctrica, germinación y vigor de la semilla sometida a heladas, se planteó el presente trabajo con el objetivo de evaluar la susceptibilidad o tolerancia de variedades nativas de maíz al daño por heladas, mediante la cuantificación de la conductividad eléctrica, germinación y vigor de semilla de maíz producida en condiciones de helada artificial y natural.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Material genético

Se evaluó un conjunto de 64 variedades de maíz, de las cuales 61 fueron materiales nativos, colectados en 25 poblaciones de los Distritos de Desarrollo Rural de Ciudad Serdán y Libres, Puebla, y Huamantla, Tlaxcala, donde es usual la presencia de factores adversos, principalmente heladas y sequía. Los otros tres materiales fueron las variedades mejoradas de uso comercial Gavilán, Aspros 722 y Sintético Serdán.

3.4.2 Tratamiento de helada a la semilla

Con el propósito de estudiar la tolerancia a las heladas de las variedades nativas de maíz se utilizó la etapa de desarrollo de la semilla, sometiendo a ésta dos tipos de helada.

Helada artificial. Las 64 variedades fueron sembradas en Huejotzingo, Puebla para obtener semilla con un contenido de humedad del 42 %. Para calcular el contenido de humedad se colectaron dos mazorcas de cada parcela de la primera y segunda repetición, de las cuales se obtuvo una muestra de diez gramos de cada mazorca, las cuales fueron colocadas en botes de aluminio para ser secadas en una estufa (modelo NS-C2) a una temperatura de 130 °C durante 1 hora (Moreno 1984). Una vez obtenido el contenido de humedad deseado, la semilla fue sometida a una helada artificial en una cámara de crecimiento (Barnstead International-845), donde se disminuyó paulatinamente la temperatura desde 15 °C hasta -2° C a lo largo de un periodo de 12 horas. La semilla se mantuvo a -2 °C durante 6 horas para después subir progresivamente la temperatura durante 6 horas hasta alcanzar los 19° C. Estas condiciones de tiempo y temperatura simulan a las heladas naturales que se presentan en la región, de acuerdo con una helada registrada por el INIFAP el 6 de marzo de 2007 en la estación meteorológica de San Antonio, municipio de San Juan Atenco, Puebla (Ramírez, Comunicación Personal)¹.

Helada natural. Semilla de las 64 variedades se sembraron en Emiliano Zapata el 30 de marzo de 2007, en Santa Inés Borbolla el 7 de abril, y en Santa Cruz Coyotepec el 4 de mayo. En todas las localidades ocurrieron descensos de temperatura: 1) En Santa Cruz Coyotepec se observó la

¹ Comunicación personal. Héctor Ramírez Carrillo. Colaborador del proyecto de predicción de cosechas. INIFAP. 2007

incidencia de seis heladas, la primera a los 148 y la segunda a los 162 días después de la siembra (DDS), ambas durante el desarrollo de la semilla y con una temperatura mínima de -1°C ; las otras cuatro ocurrieron poco antes de la cosecha a los 185, 191, 198 y 205 DDS con temperaturas de -8 , -7 , -8 y -8°C , respectivamente, 2) En Santa Inés Borbolla hubo cinco heladas, la primera a los 175 DDS y la segunda a los 189 DDS, ambas durante el desarrollo de la semilla y de 0°C ; las otras tres heladas ocurrieron, al igual que en la anterior localidad poco antes de la cosecha a los 212, 218, y 225 DDS con temperaturas de -7 , -6 y -6°C , respectivamente, 3) En Emiliano Zapata la temperatura también descendió durante el desarrollo de la semilla pero sólo a 2°C a los 100 Y 183 DDS, las heladas se presentaron también poco antes de la cosecha a los 220, 226 y 233 DDS, con temperaturas de -7 , -6 y -8°C , respectivamente. Lo anterior generó un ambiente más restrictivo para el desarrollo de la semilla en Santa Cruz Coyotepec ya que las dos heladas fueron un poco antes en el desarrollo de la semilla, lo que implica mayor contenido de humedad, además de que fueron un grado más intensas. Santa Inés Borbollas fue la condición intermedia y Emiliano Zapata la menos adversa. Por lo tanto, las condiciones de helada artificial y natural son adecuadas para estudiar las diferencias en la tolerancia a las heladas en las variedades nativas de maíz.

3.4.3 Pruebas conducidas

Para poder observar la tolerancia o susceptibilidad a las heladas en las variedades de maíz con base en la etapa de desarrollo de la semilla se evaluó el efecto de las bajas temperaturas en la germinación y vigor de la semilla, ya que ambas reflejarán el daño que éstas hayan causado a las células del embrión de las variedades susceptibles. Para medir ambos atributos de calidad se

utilizó la prueba de germinación estándar a la semilla original sin tratamiento de helada, y a la proveniente del tratamiento de helada artificial y de las tres localidades con presencia de helada natural, Santa Cruz Coyotepec, Santa Inés Borbolla y Emiliano Zapata. La germinación se realizó con el método “entre papel” propuesto por la Internacional Seed Testing Association (ISTA, 2004), colocando las semillas entre toallas de papel previamente humedecidas, enrollándolas en forma de taco, los cuales se mantuvieron húmedos con agua destilada a una temperatura de 25° C. La prueba de germinación estándar tiene una duración de 7 días. A los cuatro días se realiza una primera evaluación de las plántulas normales (PN), considerando aquellas con radícula y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin deformaciones. Las PN son utilizadas como un indicador de vigor de la semilla. Al final de la prueba se evalúa nuevamente las plántulas normales, que en este caso es el indicador del porcentaje de germinación, las plántulas anormales (PAN) y las semillas muertas. La suma de PN y PAN nos indica el porcentaje de viabilidad de la semilla, que sumadas a la germinación y vigor son indicadores de la calidad de la semilla (Watkins, 1998). Se utilizaron dos repeticiones de 25 semillas.

Además de la prueba de germinación estándar se llevó a cabo una prueba de conductividad eléctrica, que mide la lixiviación de electrolitos (Matthews y Powell, 1986), es un indicador del daño que puede causar la helada a la membrana celular. Por lo tanto, aquellas variedades cuya semilla helada presente bajos niveles de conductividad eléctrica indicarán la probable existencia de tolerancia a las heladas. Esta prueba, al igual que la germinación a los cuatro días en la prueba de germinación estándar, es considerada como un indicador del vigor de la semilla (Schmidt y Tracy, 1989). La prueba se realizó de acuerdo con el protocolo de Matthews y Powell (1981) que considera el sumergir a la semilla en 150 mL de agua destilada durante 24 h, al término de

las cuales se determina la conductividad eléctrica de la solución a temperatura ambiente; la lectura se registró con un conductivímetro (HANNA-HI98130, Atlanta, GA). Los resultados se expresaron en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Para esta prueba se utilizaron 25 semillas en tres repeticiones para la semilla helada naturalmente y dos en el caso de la semilla original y la helada artificialmente.

3.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental empleado correspondió a un completamente al azar. Las variables registradas, a las cuales se les realizó una transformación mediante raíz cuadrada (Bautista *et al.*, 2009), se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias mediante el estadístico de Tukey (con $\alpha= 0.05$). Todo lo anterior se realizó mediante el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999).

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Germinación estándar

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre orígenes y variedades para todas las variables, a excepción de plántulas anormales en variedades en donde fue sólo significativa. En el caso del origen los resultados se deben a las diferentes intensidades de las bajas temperaturas. Los resultados en las variedades indican que existen diferencias en el nivel de tolerancia a las heladas en las variedades nativas, diferencias

manifestadas en niveles de daño al embrión (plántulas normales en el primer y segundo conteo). En el caso de la interacción O x V, ésta fue altamente significativa sólo para el primer conteo, y significativa para plántulas normales y semillas muertas, lo cual nos indica que las variedades tienen diferente nivel de tolerancia a la helada de acuerdo a la intensidad de ésta.

Al llevar a cabo la prueba de medias para variedades y al extraer las diez variedades con mayor y menor porcentaje de germinación (Cuadro 2), se observó que la germinación de CPue074 y CPue079 superaron a la mejor variedad testigo tanto en el primero como en el segundo conteo. La germinación del resto de las variedades del grupo superior no está muy alejada de las tres primeras; sin embargo, al comparar los valores del grupo superior e inferior las diferencias si fueron más notables, lo cual denota expresión genética diferencial de la resistencia a heladas (Castellón y Muñoz, 1990). De acuerdo con la germinación de las semillas heladas, CPue074 y CPue079 fueron las variedades que pueden ser consideradas como las de mayor tolerancia a heladas, característica que deberá ser confirmada mediante técnicas bioquímicas o moleculares.

Al graficar el comportamiento de las distintas variables registradas en la prueba de germinación estándar a través de ambientes para los diferentes orígenes de la semilla (Figura 1), se observó que los resultados más altos, tanto en germinación como en vigor, se obtuvieron en la semilla que no fue sometida a heladas (semilla original), observándose un descenso gradual en los valores de ambas variables, correspondiendo los valores más bajos a Santa Cruz Coyotepec, donde, además de que la helada fue más intensa, los embriones estuvieron más inmaduros. Estos resultados confirman lo expuesto por Kiesselbach y Ratcliff (1920), quienes mencionan que la exposición de las semillas de maíz a -2°C disminuye la germinación. Pocos estudios han investigado el impacto de la lesión por helada sobre el vigor de la semilla. Woltz *et al* (2006)

mencionan que los embriones inmaduros son especialmente susceptibles a daños por heladas tempranas, en tanto que Fick (1989) reportó disminución del vigor de la semilla a temperatura de -6° C.

3.5.2 Conductividad eléctrica

El análisis de varianza (Cuadro 3) indicó la existencia de diferencias altamente significativas entre los diferentes niveles de heladas (orígenes), variedades y la interacción entre ambos factores. Los resultados en la conductividad eléctrica en las variedades indican diferentes niveles en el daño a la membrana celular, por lo que podemos decir que aquellas variedades cuyas semillas presentaron conductividad eléctrica baja podrían tener cierto nivel de tolerancia a las heladas. Holbert (1930) reportó diferencias entre variedades en la tolerancia a heladas tanto en cámaras de ambiente controlado como en campo.

En el (Cuadro 4) se muestran los resultados de las 10 variedades con menor conductividad eléctrica, de las cuales ocho fueron materiales nativos y dos mejorados (Gavilán y Aspros 722). En el mismo cuadro se presentan los resultados de las 10 variedades nativas con mayor conductividad eléctrica, todas ellas nativas. Las variedades que sobresalieron en esta prueba fueron en su mayoría las mismas que sobresalieron en la prueba de germinación estándar, con excepción de las variedades nativas CPue074 y CPue014, lo cual indica que las variedades que toleraron el daño al embrión (mayor germinación) también toleraron el daño a la membrana celular.

Al analizar los orígenes de la semilla (Cuadro 5) se observó que la conductividad eléctrica fue menor en la semilla original y en Borbolla en relación con el resto de los orígenes. En el mismo cuadro se observa también que la conductividad eléctrica se incrementó conforme aumentó el deterioro de la semilla por helada natural o artificial, afectando la permeabilidad de las membranas celulares que durante la imbibición de la semilla permite la salida de aminoácidos, iones y azúcares. Resultados similares encontraron Edge y Burris (1970) en semilla de soya y Brower y Mulder (1982) en frijol.

3.6 Conclusiones

a). En general, las bajas temperaturas disminuyeron la germinación y el vigor de la semilla en las variedades nativas así como en las mejoradas, lo que indica daño al embrión. No obstante, variedades nativas como la CPue074 y CPue079 presentaron los mayores niveles en ambas variables, por lo que podrían indicar cierto nivel de tolerancia a las heladas.

b). Los mayores daños en germinación y vigor se presentaron en Santa Cruz Coyotepec, donde las heladas, además de que fueron más intensas, se presentaron en etapas tempranas del desarrollo de la semilla, lo que implica inmadurez del embrión y mayor contenido de humedad en la semilla.

c). Las bajas temperaturas, además de afectar la germinación y vigor también incrementaron la conductividad eléctrica, lo que indica daño a la membrana celular. No obstante, también en este caso se encontraron variedades nativas como la CPue090 y CPue079 con bajos niveles de conductividad eléctrica, por lo que podrían indicar cierto nivel de tolerancia a las heladas.

d). La variedad nativa CPue079 mostró mayor consistencia en ambas pruebas, por lo que puede ser considerada como tolerante a las heladas, característica que deberá corroborarse mediante técnicas bioquímicas y moleculares enfocadas al embrión y membrana celular.

3.7 Agradecimientos

A la Coordinación Sectorial de Desarrollo Académico (COSDAC), por el financiamiento a la investigación. A Juan Herrera, encargado del laboratorio de calidad de semillas del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, por su apoyo en la prueba de germinación estándar.

3.8 Referencias bibliográficas

- Barrales D, J S; Livera M, M, González H, V M; Peña V, C; Kohashi-Shibata, J y Castillo G, F. 2002. Relaciones térmicas en el sistema suelo-planta-atmósfera durante la incidencia del fenómeno de enfriamiento o helada. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 289-297.
- Bautista M, N; Soto R, L y Pérez P, R. 2009. *Tópicos Selectos de Estadística Aplicados a la Fitosanidad*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, estado de México. 256 p.
- Bewley, J and M Black. 1994. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. 2nd ed. Plenum Press. New York. 460 p.

- Brouwer, H M and J C Mulder. 1982. Reduced steeping time for the conductivity vigor test of *Phaseolus vulgaris* L. seed. Journal of Seed Technology 7: 84-96.
- Castellón O, J J y Muñoz O, A. 1990. Resistencia a heladas y sequía en maíces de la Mesa Central y Sierra de Chihuahua. Ciencias Agropecuarias. 2: 11-17
- DeVries, M; Goggi, A S and Moore K J. 2007. Determining seed performance of frost- damaged maize seed lots. Crop Science 47: 2089-2097.
- Edge O T and Burris J S. 1970. Physiological and biochemical changes in deteriorating soybean seeds. Proceedings of the Association of Official Seed Analysts 60: 158-168.
- Fick, V G. 1989. Ice nucleation in maturing seed corn and conductivity testing for freezing injury. Ph. D. Dissertation. Iowa State University. Ames, IA. 142 p.
- Hartwigsen, J A. 1999. Changes in physiology, molecular biology, and biochemistry associated with maize seedlings germinated from freeze-damaged seed. Ph.D. Dissertation. Iowa State University, Ames, IA. 125 p.
- Holbert, J R. 1930. Cold resistance and susceptibility in corn. Phytopatology. 20: 117-118

Huamani C, J C. 2005. Atlas de heladas. Dirección General de Información Agraria del Ministerio de Agricultura. Convenio de cooperación Técnica Interinstitucional SENAMHI-MINAG. Información Agroclimática Oportuna. Lima, Perú. 135 p.

ISTA (International Seed Testing Association). 2004. International Rules for Seed Testing Bassersdorf, CH-Switzerland 243 p.

Kiesselbach T A and Ratcliff, J A. 1920. Freezing injury of seed corn. University of the Nebraska Bulletin of the Agricultural Experiment Station. Research Bulletin No. 16. Lincoln, NE. 96 p.

Matthews, S and Powell, A A. 1981. Electrical conductivity test *In*: Handbook of Vigour Test Methods. Perry D A (ed.). International Seed Testing Association (ISTA). Zurich. pp: 37-41.

Matthews, S and Powell, A A. 1986. Enviromental and physiological constraints on field performance of seeds. Hortscience 21: 1125-1128.

Moreno, M E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. ed. Instituto de biología UNAM. México 1984. 383 p.

Pereyra, A R; Angelocci, L R and Sentelhas, P C. 2002. Agrometeorología: Fundamentos e Aplicações Práticas. Livraria e Editora Agropecuaria Ltda. Guaíba, Brasil, 478 p.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación).
2007. Tarjeta informativa para prensa. Acciones para la competitividad en maíz, frijol,
caña de azúcar y leche. Aguascalientes, México.
- SAS Institute. 1999. SAS Procedures Guide, Ver 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1643 p.
- Schmidt, D H and Tracy, W F. 1989. Duration of imbibition affects seed leachate conductivity in
sweet corn. HortScience. 24: 346-347.
- Watkins, J T. 1998. Seed quality problems commonly encountered during vegetable and flower
seed production. Seed Technology 20: 125-130.
- Woltz, J; TeKrony, D; Dennis, M and Egli, B. 2006. Corn seed germination and vigor following
freezing during seed development. Crop Science. 46: 1526-1535.

3.9 Cuadros y figuras

Cuadro 1. Cuadros medios y coeficientes de variación de las variables registradas en la prueba de germinación estándar.

Variables	CV %	Cuadros medios			Error
		O	V	O x V	
Primer conteo					
Plántulas normales	18.7	28617.8**	634.6**	284.4 **	171.1
Segundo conteo					
Plántulas normales	15.9	18367.4**	494.6**	232.6*	148.4
Plántulas anormales	82.2	494.3**	57.7*	49.7 ns	35.7
Semillas muertas	68.2	13195.1**	354.3**	160.6 *	124.7
Grados de libertad		3	63	189	

CV: coeficiente de variación, O: origen, V: variedad, *: diferencias significativas (0.05), **: diferencias altamente significativas (0.01), ns: diferencias no significativas.

Cuadro 2. Germinación estándar del 10 % superior e inferior de las poblaciones estudiadas.

	Primer conteo	Segundo conteo		
	PN (%)	PN (%)	PAN (%)	SM (%)
Variedades con mayor porcentaje de germinación				
CPue074	82.5 b	90.0 a	6.5 b	3.5 d
CPue079	83.0 b	89.0 b	3.0 b	8.0 d
Gavilán	82.0 b	88.5 c	5.5 b	6.0 d
CPue090	84.5 a	88.0 c	5.0 b	7.0 d
CPue016	82.5 b	88.0 c	4.5 b	7.5 d
CPue007	81.5 c	88.0 c	7.0 b	5.0 d
CPue127	79.5 d	87.5 d	8.0 b	4.5 d
CPue014	80.5 d	86.5 e	5.0 b	8.5 d
Aspr722	84.0 a	85.5 e	8.0 b	6.5 d
CPue032	79.5 d	84.0 e	7.0 b	9.0 d
Variedades con menor porcentaje de germinación				
SintSer	53.5 f	68.5 f	19.0 a	12.5 d

CPue169	58.0 f	67.0 f	10.5 b	22.5 d
CPue442	56.0 f	66.5 f	9.5 b	24.0 d
CPue311	58.5 f	66.0 f	7.5 b	26.5 d
CPue309	54.5 f	64.0 f	12.5 b	23.5 d
CPue277	54.5 f	63.5 f	8.0 b	28.5 b
CPue084	57.5 f	62.5 f	9.5 b	28.0 c
CPue157	56.5 f	62.5 f	13.0 b	24.5 d
CPue124	52.0 f	62.0 f	12.0 b	26.0 d
CPue168	46.0 f	56.0 f	9.5 b	34.5 a
DMS	27.2	25.3	12.4	23.2

PN: plántulas normales (germinación), PAN: plántulas anormales, SM: semillas muertas, Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales. DMS: diferencia mínima significativa.

Cuadro 3. Cuadrados medios y coeficientes de variación de la prueba de conductividad eléctrica.

Cuadrados medios				
Variables	CV	O	V	O x V
Peso seco de la semilla	11.77	470.95**	9.04**	2.43**
Conductividad eléctrica	40.85	0.0491**	0.0063**	0.0009**
Grados de libertad		4	63	251

CV: coeficientes de Variación, O: origen, V: variedad, *: diferencias significativas (0.05), **: diferencias altamente significativas (0.01), ns Diferencias no significativas.

Cuadro 4. Variedades con los valores de conductividad eléctrica más bajos y más altos, y el peso de la semilla de las variedades en estudio.

Variedades	CE (μ S)	PS (g)
valores más bajos		
Gavilán	0.008 a	5.58 m
CPue090	0.010 b	7.23 g
CPue127	0.014 c	6.17 l
CPue007	0.014 c	7.18 h
CPue032	0.016 d	8.67 h

CPue016	0.021 e	6.79 m
CPue079	0.022 f	7.63 l
CPue092	0.023 g	8.03 k
CPue094	0.026 h	7.64 l
Aspr722	0.026 h	6.64 m

valores más altos		
CPue309	0.079 l	11.41 a
CPue380	0.080 m	7.63 l
CPue124	0.084 n	8.5 i
CPue438	0.084 n	9.36 e
CPue456	0.092 ñ	8.85 h
CPue157	0.096 o	8.31 j
CPue277	0.101 p	10.68 c
CPue168	0.106 q	8.48 i
CPue084	0.108 r	7.52 l
CPue169	0.130 s	9.00 h
DMS (5%)	0.04	1.8

CE: conductividad eléctrica, PS: peso de la semilla, Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales. DMS: Diferencia mínima significativa

Cuadro 5. Conductividad eléctrica y peso de la semilla de acuerdo al origen de la misma.

Origen de la semilla	CE (μ S)	PS (g)
Semilla original	0.0341a	11.34 a
Santa Inés Borbolla	0.0407 a	9.06 b
Huejotzingo	0.0555 b	7.01 c
Santa Cruz Coyotepec	0.0558 b	6.92 c
Emiliano Zapata	0.0850 c	6.93 c
DMS (5%)	0.007	0.34

CE: conductividad eléctrica, PS: peso de la semilla, Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, DMS: diferencia mínima significativa.

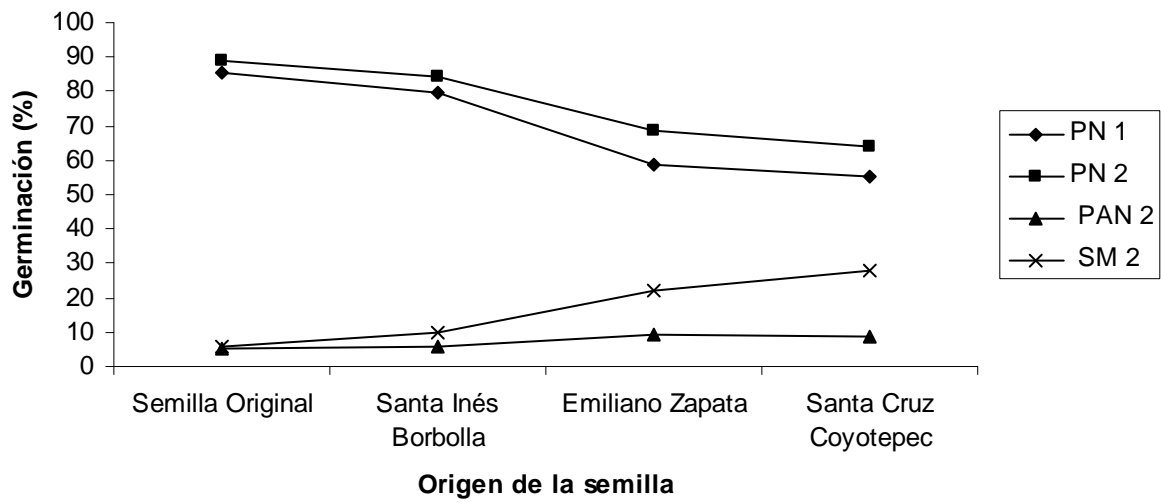


Figura 1. Porcentaje de plántulas normales (germinación) al primero y segundo conteos y plántulas normales y semillas muertas al segundo conteo.

1V. Conclusiones generales

Los resultados de la presente investigación contribuyen a entender un poco más la problemática de las heladas en maíz en Valles Altos de México, en base a que:

- a) Se asoció la incidencia de heladas con la etapa de desarrollo, precocidad y el rendimiento de grano. En este aspecto se encontró que el daño por heladas es mayor entre más pronto se presenten en el desarrollo del grano o semilla. Por esa razón las variedades de precocidad intermedia fueron las menos afectadas.
- b) Las heladas afectaron a todas las variedades; sin embargo, algunas variedades nativas presentaron mayor rendimiento (CPue131) y menor interacción entre localidades (CPue131, CPue448 y CPue134) en comparación con las mejoradas.
- c) Por otra parte, no se encontró asociación entre el rendimiento de grano con la tolerancia de la semilla a la helada en forma artificial o natural. Esto es, las variedades de mayor rendimiento de grano fueron diferentes a aquellas que presentaron mayor germinación y vigor (Cpue074 y Cpue079) y menor conductividad eléctrica (Cpue090 y Cpue079).
- d) Las anteriores conclusiones indican la existencia de diversidad genética para tolerancia a heladas, lo cual permitirá seleccionar variedades nativas que deberán ser analizadas en mayor detalle para confirmar la existencia y el nivel de tolerancia a las heladas, mediante técnicas más precisas, ya sea bioquímicas o moleculares o ambas.