

## EVALUACIÓN DE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ EN AMBIENTES CON HELADAS EN VALLES ALTOS DE PUEBLA\*

### EVALUATION OF MAIZE NATIVE POPULATION IN ENVIRONMENTS WITH FROSTS IN HIGH VALLEYS, PUEBLA

Ricardo Pérez-de la Luz<sup>1</sup>, Higinio López-Sánchez<sup>1§</sup>, Pedro Antonio López<sup>1</sup>, Abel Gil-Muñoz<sup>1</sup>, Amalio Santacruz-Varela<sup>2</sup> y Juan de Dios Guerrero-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. *Campus* Puebla. Carretera México-Puebla, km 125.5. Santiago Momoxpan, Cholula, Puebla. C. P. 72760. Tel. 01 222 2851447. Ext. 2207. (rperezl@colpos.mx), (palopez@colpos.mx), (gila@colpos.mx), (trjuan@colpos.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados. *Campus* Montecillo. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1570. (asvarela@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: higinio@colpos.mx.

#### RESUMEN

En México la superficie sembrada con maíz es de ocho millones de hectáreas, de las cuales 1.2% es siniestrada por heladas. En el estado de Puebla este porcentaje es 0.8% y en Valles Altos 1.7%. El objetivo de este estudio, fue evaluar el efecto de las heladas en rendimiento de grano y seleccionar poblaciones nativas con mayor rendimiento en ambientes con presencia de heladas. Para ello se evaluaron 61 poblaciones nativas y tres variedades mejoradas, mediante un diseño experimental látice simple 8\*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 en 2007. El análisis de varianza combinado indicó que las heladas afectaron el rendimiento de grano de las poblaciones nativas y mejoradas; pero hubo variedades como la CPue-131, CPue-448 y CPue-134 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 heladas con 3 510 kg ha<sup>-1</sup>.

#### ABSTRACT

In Mexico, the maize planted area is eight million hectares, out of which 1.2% is stricken by frost. In Puebla State, this percentage is 0.8% and 1.7% in High Valleys. The aim of this study was to evaluate the effect of frost on grain yield and to select native populations with higher performance in presence of frost. 61 native populations and three improved varieties were evaluated, through a simple lattice design 8\*8 with two repetitions. The experiments were established at three locations in Puebla State. Planting dates were March 30<sup>th</sup> in Emiliano Zapata, Cuyoaco; April 7<sup>th</sup> in Santa Inés Borbolla, Chalchicomula de Sesma and May 4<sup>th</sup> in Santa Cruz Coyotepec, San Juan Atenco; these locations are characterized by its rainfed conditions and frosts in 2007. The combined analysis of variance indicated that the frosts affected grain yield of native and improved populations; but there were varieties such as CPue-131, CPue-448 and CPue-134 that showed a higher average yield and environmental stability that improved varieties. Mean test for locations in the combined analysis indicated that Emiliano Zapata was the least affected by frost with 3 510 kg ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** adverse factors, grain yield, low temperatures.

\* Recibido: enero de 2011  
Aceptado: agosto de 2011

**Palabras clave:** bajas temperaturas, factores adversos, rendimiento de grano.

## INTRODUCCIÓN

El maíz constituye el alimento básico de mayor importancia en México. Datos de la SAGARPA (2007b), indican que el rendimiento promedio en 2007 fue de 21 millones de toneladas en una superficie de ocho millones de hectáreas aproximadamente. La misma fuente reporta que 85% 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 la escasa precipitación con bajas temperaturas, son factores críticos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, particularmente en Valles Altos.

En México, de acuerdo con la SAGARPA (2005), en el periodo 1995-2005 la superficie siniestrada por heladas representó 1.2%. En el caso del estado de Puebla, la superficie afectada por heladas en 2007 fue de 4 350 ha, que representaron 0.8% (SAGARPA, 2007a); los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) con mayor incidencia de heladas es el DDR 04 Libres, donde la superficie siniestrada alcanzó 1 970 ha en 2007, que representaron 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 0 °C (Huamání, 2005). Si la temperatura es bajo cero se forman cristales en el interior de la célula, causando daños mecánicos y destrozando su estructura física (Calderón, 1998), lo que resulta en la alteración de diversos procesos bioquímicos y fisiológicos (Ding *et al.*, 2001). La temperatura mínima y umbral requerido por el maíz es 0.5 y 10 °C, respectivamente (Wang, 1982); 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 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 en

## INTRODUCTION

Maize is the most important staple food in Mexico. Data from SAGARPA (2007b), indicated that the average yield in 2007 was 21 million tons in an area of eight million hectares. The same source reports that 85% of production is obtained under rainfed conditions, resulting in a high dependence on weather conditions. In this regard, Barrales *et al.* (2002), mention that in temperate regions of Mexico the growing season is short and low rainfall with low temperatures are critical for growth and development of plants, particularly in High Valleys.

In Mexico, according to SAGARPA (2005), in the period of 1995-2005, the area affected by frost accounted for 1.2%. In the case of Puebla State, the area affected by frost in 2007 was 4 350 ha, which accounted for 0.8% (SAGARPA, 2007a); the Rural Development Districts (RDD) with greater incidence of frosts is the RDD 04 Libres, where the area affected reached 1 970 ha in 2007, representing 1.7% of total planted (SAGARPA, 2007a).

Frost occurs when the air temperature drops to critical levels for crops, without necessarily reaching 0 °C (Huamání, 2005). If temperature is below 0 °C, crystals form inside the cell cause mechanical damage and destroy its physical structure (Calderón, 1998), resulting in the alteration of several biochemical and physiological processes (Ding *et al.*, 2001). The minimum temperature and threshold required for maize are 0.5 and 10 °C, respectively (Wang, 1982); in fact this crop is characterized as low resistant to frosts (Ventskevich, 1961).

In order to cope with the damage caused by frosts, different aspects have been investigated; plant breeding is one of them. In Mexico, one of the first papers recording information about it was that of Muñoz and González (1976); they worked with five cold-tolerant synthetic (derived from the collection lines Michoacán-21) and found that these (particularly in the three first cycles of selection), showed gains in yield over the original population, indicating that selection for cold tolerance was satisfactory.

In subsequent researches, Palacios (1985), reported differences in cold hardiness between hybrids of rainfed and irrigation and hybrids H-27 and H-28, were those with greater tolerance to cold; Barrales (1997), reported that maize-bean association could be an alternative for regions

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 investigaciones posteriores, Palacios (1985) reportó que hubo diferencias en la resistencia al frío entre híbridos de temporal y de riego y los híbridos H-27 y H-28, fueron los que presentaron mayor tolerancia al frío; por su parte, Barrales (1997) reportó que la asociación maíz-frijol podría ser una alternativa para regiones con heladas; también Barrales *et al.* (2002), trabajando con 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, 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 evaluar el comportamiento de poblaciones nativas de maíz en ambientes con alta incidencia de heladas en el estado de Puebla.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localidades de evaluación

La investigación se condujo en tres localidades del DDR 04 de 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  $19^{\circ} 01' 22''$  latitud norte,  $97^{\circ} 33' 36''$  longitud oeste y 2 429 msnm;  $19^{\circ} 00' 19''$  latitud norte,  $97^{\circ} 29' 21''$  longitud oeste y 2 483 msnm;  $19^{\circ} 37' 00''$  latitud norte,  $97^{\circ} 33' 49''$  longitud oeste y 2 489 msnm (Figura 1).

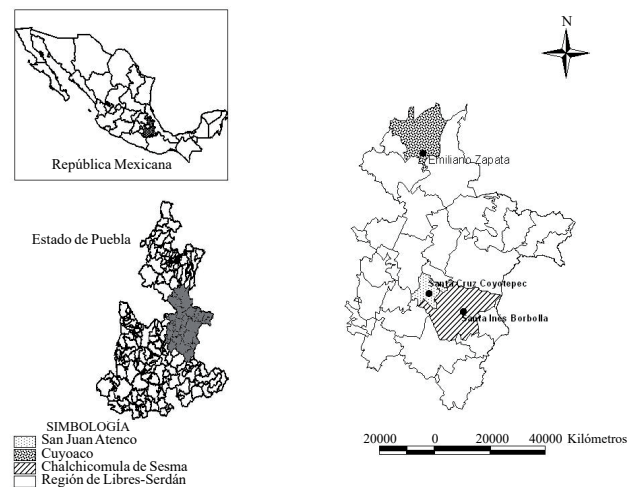
El Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2008a; 2008b; 2008c), en el periodo 1971-2000 presenta la distribución de las temperaturas mínimas y precipitación pluvial promedio mensual y anual (Cuadro 1). Las temperaturas mínimas promedio han sido más bajas en Santa Cruz Coyotepec y Emiliano Zapata. Sin embargo, no es posible observar el número de años con presencia de heladas, debido que las temperaturas son mínimas promedio. Para eliminar este problema, se midió la temperatura y la precipitación pluvial durante el desarrollo del experimento, variables que fueron relacionadas con variables respuestas importantes como la floración y el llenado de grano.

with frosts; also Barrales *et al.* (2002), working with maize hybrids H-28, H-30, H-32, CPV20, Zac SMC15-58 and Zac-58 Or, concluded that there was no difference in cold tolerance between genotypes and total death of plants occurred at temperatures of  $-0.4$  and  $-0.7$  °C. However, there are very few studies documenting the effects of frost on native populations of maize, which is why this research was proposed with the aim of assessing the behavior of native maize populations in areas with high incidence of frosts in Puebla State.

## MATERIALS AND METHODS

### Evaluation localities

The research was conducted at three locations in the RDD 04 Libres, Puebla: Santa Cruz Coyotepec, municipality of San Juan Atenco; Santa Inés Borbolla, Chalchicomula de Sesma municipality and Emiliano Zapata, municipality of Cuyoaco. Respective geographical coordinates are  $19^{\circ} 01' 22''$  North Latitude,  $97^{\circ} 33' 36''$  West Longitude and 2 429 masl;  $19^{\circ} 00' 19''$  North Latitude,  $97^{\circ} 29' 21''$  West Longitude and 2 483 masl;  $19^{\circ} 37' 00''$  North Latitude,  $97^{\circ} 33' 49''$  West Longitude and 2 489 masl (Figure 1).



**Figura 1. Región Libres y Serdán, Puebla y localidades donde se establecieron los experimentos.**

**Figure 1. Libres region and Serdán, Puebla and localities where experiments were settled.**

The National Weather Service (CONAGUA, 2008a; 2008b; 2008c) in the period 1971-2000 shows the distribution of minimum temperatures and rainfall average, monthly

**Cuadro 1. Temperaturas mínimas normales y precipitación pluvial promedio mensual y anual. 1971-2000.**  
**Table 1. Regular minimum temperatures and monthly and yearly average rainfall. 1971-2000.**

LOC	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temperatura mínima promedio (°C)													
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
Precipitación pluvial promedio (mm)													
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; E-D= meses del año; SCC= Santa Cruz Coyotepec (Conagua, 2008a); SIB= Santa Inés Borbolla (Conagua, 2008b); EZ= Emiliano Zapata (Conagua, 2008c).

### Material genético

Se utilizaron 64 genotipos de maíz, de los cuales 61 fueron poblaciones nativas y tres variedades mejoradas recomendadas para la región: híbridos Aspros 722, Gavilán y Sintético Serdán, los cuales fueron usados como testigos. 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.

### Diseño y unidad experimental

Se empleó un diseño experimental látice simple 8\*8, con dos repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por dos surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho. Se sembraron 11 matas por surco, a una distancia de 50 cm, depositando tres semillas por mata para posteriormente, después de la emergencia, dejar dos plantas por mata.

### 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 o temprana. En la localidad 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.

and yearly (Table 1). The average minimum temperatures were lower in Santa Cruz Coyotepec and Emiliano Zapata. However, it is not possible to observe the number of years with frosts, because the temperatures shown are minimum average. In order to eliminate this problem, the temperature and rainfall were measured during the course of the experiment, variables that were associated with significant response variables such as flowering and grain filling.

### Genetic material

64 maize genotypes were used, out of which, 61 were native populations, and three improved varieties recommended for the region: hybrids Aspros 722, Gavilán and Sintético Serdán, which were used as controls. The populations of native varieties were collected in the States of Puebla and Tlaxcala, with producers who traditionally plant native maize varieties in presence of adverse factors, mainly frosts.

### Design and experimental unit

Experimental design employed was simple lattice 8\*8 with two replications. The experimental plot consisted of two rows of 5 m long and 0.8 m wide. Eleven plants were planted per groove, at a distance of 50 cm, placing three seeds per bush and later, after the emergency, two plants per bush were retained.

### Experiments conduction

The experiments were established at different times in order to increase the chances of affectation by natural frost, late or early. In Emiliano Zapata, planting was held on March 30<sup>th</sup>, 2007, in Santa Ines Borbolla in April 7<sup>th</sup> and in Santa Cruz Coyotepec on May 4<sup>th</sup>. In the three localities, planting was done manually, trying to place the seeds in moist soil (planting

## 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), factor de desgrane (FD) (peso de grano/peso de mazorca) y rendimiento de grano por hectárea (RHA) (expresado en kg ha<sup>-1</sup> y ajustado al 14% de humedad). Adicionalmente, en cada parcela 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.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables se sometieron a un análisis de varianza por localidad, y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) 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).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Factores termopluviométricos

Aun cuando la temperatura y la lluvia no son variables respuesta relacionadas directamente con el manejo de los experimentos, fue necesario relacionar los resultados de estas con variables respuesta importantes como la floración y el llenado de grano.

La Figura 2 muestra el comportamiento de las temperaturas mínimas, máximas y 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 154 y la segunda a 168 días después de la siembra (DDS), ambas con una temperatura mínima de -1 °C; las otras cuatro ocurrieron a 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 13 de octubre

at “search-juice”). The fertilization formula applied was 140-50-00 recommended by INIFAP (1997). In the first work, half nitrogen and all phosphorus were applied, and in the second one, the rest of nitrogen. The management of experiments was the traditionally used by farmers in their plot.

## Evaluated variables

The variables measured were: days to 50% of male flowering (DMF), days to 50% of female flowering (DFF), floral asynchrony (FA) (DMF-DFF), plant height (PHE) (in cm, measured from ground level to the spike base), cob height (CHE) (in cm, measured from ground level to the knot of the spike insertion), shattering factor (SF) (grain weight/cob weight) and grain yield per hectare (YHA) (expressed in kg ha<sup>-1</sup> and adjusted to 14% humidity). Additionally, in each plot where the experiments were planted, a maximum and minimum thermometer was established and a rain gauge of weekly accumulation (Barrales and Muñoz, 1983), in order to record *in situ* the temperature and rainfall that occurred per week.

## Statistical analysis

The variables were subjected to analysis of variance per locality and mean comparison of Tukey test ( $\alpha=0.05$ ) was applied to the varieties. A combined analysis of variance was also performed to quantify genotype-environment interaction, using the statistical package SAS (SAS Institute, 1999).

## RESULTS AND DISCUSSION

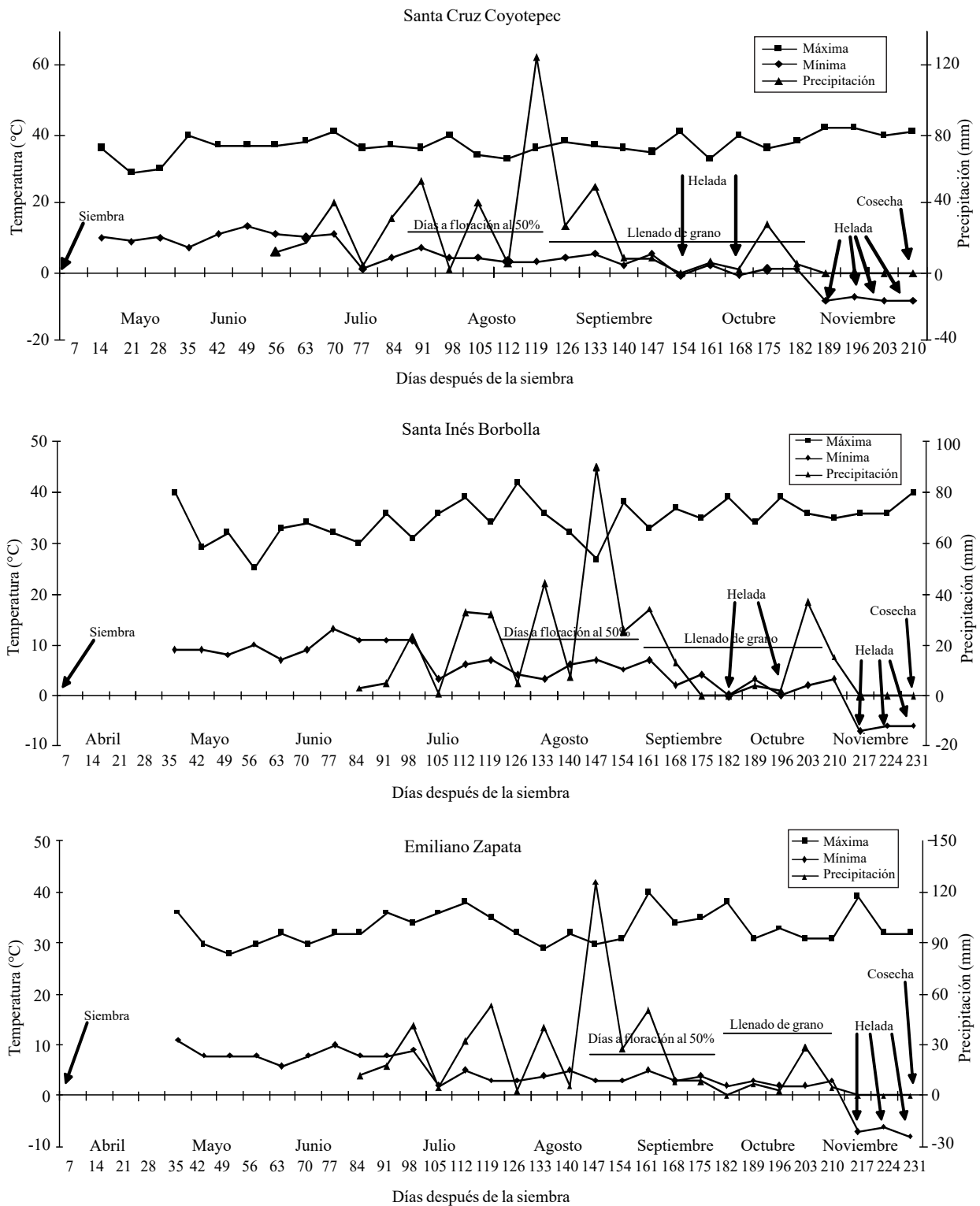
### Thermo-pluviometric factors

Even when the temperature and rain are not response variables directly related to management of experiments, it was necessary to relate the results of those with major response variables such as flowering and grain filling.

The Figure 2 shows the behavior of minimum and maximum temperatures and rainfall in Santa Cruz Coyotepec, Santa Inés Borbolla and Emiliano Zapata, Puebla; during the period in which the investigation was conducted. In Santa Cruz Coyotepec the incidence of six frosts was observed, the first one at 154 and the second one at 168 days after planting (DAP), both with a minimum temperature of -1 °C, the other four occurred at 189, 196, 203 and 210 DAP in November 5<sup>th</sup>,

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.

11<sup>th</sup>, 18<sup>th</sup> and 25<sup>th</sup>, with temperatures of -8, -7, -8, and -8 °C, respectively. In Santa Inés Borbolla there were five, the first on September 29<sup>th</sup> and the second in October



**Figura 2. Temperaturas mínima y máxima (°C) y precipitación pluvial (mm) en las localidades del estudio.**  
**Figure 2. Minimum and maximum temperatures (°C) and rainfall (mm) at studied locations.**

En las tres últimas fechas anteriores, ocurrieron tres heladas en Emiliano Zapata con temperaturas mínimas de -7, -6 y -8 °C. En esta 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 120, 146 y 147 DDS, respectivamente. En la misma figura se ha marcado el periodo de floración femenina de las variedades en estudio, el cual abarcó de 84 a 115 DDS en Santa Cruz Coyotepec, de 118 a 154 DDS en Santa Inés Borbolla y de 142 a 175 DDS en Emiliano Zapata.

Al relacionar las condiciones termopluviométricas con la floración y el llenado de grano, los aspectos que se pueden resaltar son: 1) que durante el periodo de floración hubo descensos no muy prolongados en la precipitación, por lo general afecta más a los materiales de ciclo tardío, al reducir el número y sobre todo el tamaño del grano; 2) fue durante el llenado de grano cuando se tuvieron las dos primeras heladas, las cuales coincidieron con momentos en que también hubo una breve disminución de lluvia; y 3) 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, el cultivo ya había alcanzado la madurez fisiológica y el efecto sobre el rendimiento fue menor.

En este estudio, las heladas en etapa de llenado de grano fueron asociadas a las disminuciones en el rendimiento del cultivo, excepto en Emiliano Zapata, debido que las heladas se presentaron cuando el grano ya estaba maduro, por lo que registró un mayor rendimiento promedio de 3 510 kg ha<sup>-1</sup>. En Santa Inés Borbolla la producción bajó 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.

### Análisis estadístico

El análisis de varianza combinado (Cuadro 2), evidencia que hubo diferencias altamente significativas entre localidades, entre poblaciones y variedades para todas las variables, no así para la interacción de ambos factores, a excepción de la variable RHA; la interacción en este caso indica que al menos uno de los ambientes de producción resultó estadísticamente diferente a los demás. La no significancia en la mayoría de

13<sup>th</sup>, 2007, both of 0 °C; the other three frosts occurred on November 5<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> with temperatures of -7, -6 and -6 °C, respectively.

In the last three dates, three frosts occurred in Emiliano Zapata with minimum temperatures of -7, -6 and -8 °C. In this locality the minimum temperature was less extreme during the growing season, compared with the two previous locations, recording 2 °C on July 15<sup>th</sup> and September 29<sup>th</sup>. Following the order of the localities, rainfall during the growing season was 465, 374 and 473 mm, respectively; with an irregular distribution, showing a maximum at 120, 146 and 147 DAP, respectively. In the same figure is shown the period of female flowering of studied varieties, which were from 84 to 115 DAP in Santa Cruz Coyotepec, from 118 to 154 DAP in Santa Inés Borbolla and from 142 to 175 DAP in Emiliano Zapata.

When relating thermo-pluviometric conditions with flowering and grain filling, the issues that can be highlighted are: 1) during the flowering period, there were not so prolonged decreases in rainfall, which usually affect more late maturing materials by reducing the number and especially the grain size; 2) the first two frosts occurred during grain filling, which coincided with times when there was also a brief decline in rainfall; and 3) in the last month prior to harvest, four frosts occurred in the first two locations and three in the third location, however, the crop had already reached physiological maturity and the effect on yield was lower.

In this study, frosts in grain filling stage were associated with declines in crop yield, except in Emiliano Zapata, because frosts occurred when the grain was ripe, so a higher average yield of 3 510 kg ha<sup>-1</sup> was recorded. In Santa Inés Borbolla production fell about 7.5% respect to Emiliano Zapata and 31.6% in Santa Cruz Coyotepec. Based on thermo-pluviometric factors, Emiliano Zapata was the locality that was considered more favorable and Santa Cruz Coyotepec the least favorable.

### Statistical analysis

The combined analysis of variance (Table 2), shows highly significant differences between localities, between populations and varieties for all variables, but not for the interaction of both factors, except for the YHA variable; the interaction in this case indicates that at least one production environment was statistically different from the others. The non-significance in most interactions

las interacciones, denota que las respuestas de los genotipos en estudio se mantuvieron a través de ambientes, que en el futuro podría facilitar la recomendación de genotipos para la región Libres-Serdán, Puebla.

shows that the responses of genotypes under study were maintained across environments, which could facilitate future recommendation of genotypes for the region Libres-Serdán, Puebla.

### Cuadro 2. Cuadrados medios, del análisis de varianza combinado a través de localidades.

Table 2. Mean squares of analysis of variance combined across locations.

Variable	Localidades	Genotipos	Loc*Gen	Error	CV (%)
Días a floración masculina	21495.8 **	80.6 **	11	10.59	2.9
Días a floración femenina	25575.4 **	153.8 **	11.56	11.11	2.8
Asincronía floral	637.1 **	24.5 **	11	13.63	47.8
Altura de planta	8.8 **	0.06 **	0.03	0.02	9.1
Altura de mazorca	9 **	0.06 **	0.01	0.01	13.4
Factor de desgrane	0.03 **	0.001 **	0.005	0.0004	2.5
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	430632 **	154706 **	862789 **	52479	23.7

\*, \*\*= diferencias significativas ( $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ ) respectivamente; CV= coeficiente de variación.

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, y 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 que las plantas fueron de mayor porte y precocidad.

The mean test for locations in the combined analysis (Table 3) shows that Emiliano Zapata was the most favorable environment in terms of grain yield. There is also observed that in this locality the population had the lowest values of plant and cob height, and that on average they were more delayed. Santa Inés Borbolla and Santa Cruz Coyotepec; by contrast, were environments where yield were struck compared to Emiliano Zapata, even though the plants were of larger size and more precocious.

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

Table 3. Mean test of the combined analysis for locations.

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 <sup>-1</sup> )	3510 a	3251 b	2401 c	214.06

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

El menor rendimiento en estas localidades se asoció a la mayor incidencia de heladas, principalmente en Santa Cruz Coyotepec, cuyo efecto se relaciona con el efecto negativo en las hojas, particularmente en el aparato fotosintético por

The lower yield in these locations was associated with increased incidence of frosts, especially in Santa Cruz Coyotepec, which is related to the negative effect on the leaves, particularly in the photosynthetic apparatus for



el daño a las membranas (Thomashow, 1998), con lo que se disminuye la producción (Kratsch y Wise, 2000), translocación y acumulación de fotosintatos (Gamalei *et al.*, 1994), además que se promueve la degradación del almidón ya acumulado (Jagels, 1970; Van Hasselt, 1974; Musser *et al.*, 1984). El mayor rendimiento de los genotipos en Emiliano Zapata podría, atribuirse al hecho que fue poco afectado por las heladas, ya que estas ocurrieron una vez concluido el período de llenado del 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 que las heladas afectaron el rendimiento de las variedades y de las poblaciones nativas, fue posible encontrar diferencias en el rendimiento de ambas. Destaca el hecho que un grupo de 11 poblaciones nativas superaron a las testigos (Cuadro 4). El rendimiento de la mejor de ellas (CPue-131) 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.

membranes damage (Thomashow, 1998), thus decreasing production (Kratsch and Wise, 2000), translocation and accumulation of photosynthates (Gamalei *et al.*, 1994), which also promotes the degradation of accumulated starch (Jagels, 1970; Van Hasselt, 1974; Musser *et al.*, 1984). The highest yield of genotypes in Emiliano Zapata could be attributed to the fact that it was slightly affected by frost, since they occurred after the grain filling period, unlike Santa Inés Borbolla and Santa Cruz Coyotepec, where the declines of minimum temperature coincided with the phase mentioned above.

Although, frosts affected the yield of varieties and native populations, it was possible to find differences in the yield of both. It highlights the fact that a group of 11 native populations outperformed controls (Table 4). The performance of the best of them (CPue-131) exceeded with almost 900 kg the best control (hybrid Aspros 722), representing a potential to develop varieties with greater resistance to frosts than commercial varieties.

**Cuadro 4. Prueba de medias del análisis combinado para poblaciones del grupo superior (17%), además de las testigo.**  
**Table 4. Mean test of the combined analysis for populations in the top group (17%) and the control.**

Variedades	Variables					
	RHA	DFE	AF	ALP	ALM	FD
CPue-131	4 135 a	117 p	10 b	1.74 c	0.92 d	0.85 f
CPue-465	3 995 b	115 ñ	10 b	1.78 c	0.98 d	0.87 f
CPue-028	3 859 c	116 ñ	7 b	1.98 a	1.2 c	0.85 f
CPue-116	3 776 d	110 i	7 b	1.78 c	0.99 d	0.85 f
CPue-448	3 759 d	113 m	6 b	1.89 c	1.02 d	0.87 e
CPue-032	3 753 d	110 h	5 b	1.8 c	0.99 d	0.88 d
CPue-088	3 702 d	125 s	8 b	1.78 c	0.97 d	0.85 f
CPue-438	3 671 d	120 r	7 b	1.99 a	1.23 b	0.83 f
CPue-444	3 669 d	119 q	8 b	1.91 c	1.11 c	0.85 f
CPue-447	3 585 d	117 p	6 b	1.73 c	1.17 c	0.84 f
CPue-134	3 563 d	107 a	4 b	1.72 c	0.92 d	0.86 f
Aspros 722	3 239 d	113 m	8 b	1.52 d	0.69 e	0.84 f
Sintético Serdán	3 128 e	114 n	6 b	1.83 c	1.02 d	0.83 f
$\bar{X}$	3 054	115.8	7.1	1.8	1	0.9

RHA= rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>); DFE= días al 50% de floración femenina; AF= asincronía floral; ALP= altura de planta (cm); ALM= altura de mazorca (cm); FD= factor de desgrane.  $\bar{X}$ = promedio de 64 variedades y promedio del grupo superior de cada una de las 6 variables restantes. Medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales;

Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Muñoz *et al.* (1998) y por Muñoz (2005), en el sentido que en los nichos ecológicos, particularmente en aquellos con condiciones ambientales más restrictivas, los maíces criollos igualan o

These results concur with the statement made by Muñoz *et al.* (1998) and Muñoz (2005), in the sense that the ecological niches, particularly in those with more stringent environmental conditions, landraces match or outperform the yield

superan en rendimiento a las variedades mejoradas, debido a la mejor adaptación, alcanzada a lo largo de muchos años. El buen rendimiento del Sintético Serdán puede explicarse porque fue obtenido a partir de poblaciones nativas sobresalientes de un área cercana (Gil *et al.*, 2007).

En el Cuadro 4 también puede observarse que los valores de las variables restantes, son muy similares tanto en las poblaciones 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 poblaciones nativas, que pudo haber contribuido al mayor rendimiento de éstas. Los días a floración femenina (DFF) mostraron 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 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 poblaciones más rendidoras y de mayor estabilidad ambiental.

Se observa que varias poblaciones nativas como CPue-131, CPue-448 y CPue-134, mostraron rendimientos más estables a través de ambientes en comparación con Aspros 722 y Sintético Serdán, aunque hubo algunas como CPue-438 y CPue-444 que interaccionaron más con el ambiente (Figura 3). Se observa también, que la mayoría de las poblaciones nativas y las variedades Aspros 722 y Sintético Serdán, se desarrollaron mejor en condiciones ambientales favorables, con excepción de la variedad CPue-448, que mostró un comportamiento sobresaliente también en ambientes con heladas.

## CONCLUSIONES

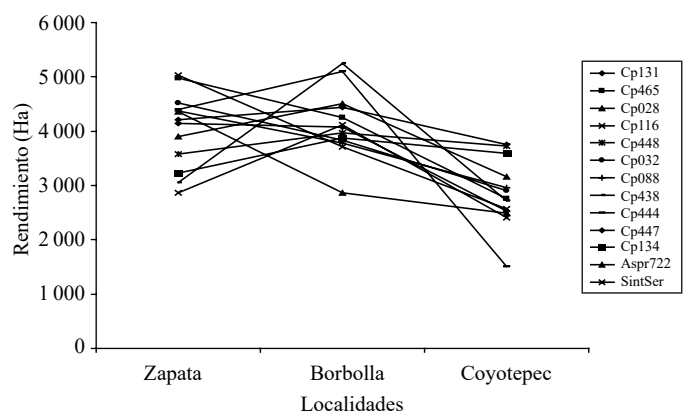
Los factores termopluviométricos, al ser relacionadas con los resultados en las variables experimentales, permitieron asociar una mayor disminución del rendimiento de las poblaciones nativas y variedades mejoradas, en los ambientes con mayor incidencia de heladas durante el llenado de grano.

of improved varieties, because of the best fit achieved along many years. The good performance of the Sintético Serdán can be explained because it was obtained from outstanding native populations of a nearby area (Gil *et al.*, 2007).

The Table 4 also shows that the values of the remaining variables are very similar in both populations: native and improved. Only in plant height (PHE), cob height (CHE) and shattering factor (SF), the values were higher in native populations, which may have contributed to its higher yields. The days to female flowering (DFF), showed that varieties were of intermediate cycle. These results indicate that genetic materials with characteristics of intermediate cycle thrive in environments whit frosts, contributing to a higher grain yield.

Muñoz (2005) has argued that when working with native populations is feasible to apply selection models 1 and 2 (Muñoz and Rodríguez, 1988). In this sense and in order to analyze the interactions observed for grain yield, the most yielding and with more environmental stability populations were plotted and selected.

It is noted that several native populations as CPue-131, CPue-448 and CPue-134, showed more stable yields across environments compared to Aspros 722 and Sintético Serdán, although there were few as CPue-438 and CPue-444 that interacted more with the environment (Figure 3). It is also noted that most of the native populations and varieties Aspros 722 and Sintético Serdán, were best developed under favorable environmental conditions, with the exception of the variety CPue-448, which also showed an outstanding performance in environments with frosts.



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

**Figure 3. Average yield and environmental stability of varieties in localities.**

Las variedades nativas presentaron menor interacción entre las localidades, ya que el rendimiento fue menos afectado en comparación con las variedades mejoradas.

Dentro del grupo de variedades nativas, las de mayor rendimiento presentaron precocidad intermedia, característica que pudo evitar un mayor daño durante el llenado de grano de éstas variedades.

La variedad CPue-131 fue 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 de mayor rendimiento en la localidad de mayor incidencia de heladas.

## 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.

## LITERATURA CITADA

- 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):289-297.
- Barrales, D. J. S. 1997. La asociación maíz-frijol, como alternativa para agricultura con problemas de heladas. *Agronomía Mesoamericana.* 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: VIII Congreso Nacional de Fitogenética.* SOMEFI. Chapingo, Méx. Memoria. 279-288 pp.
- Calderón, A. E. 1998. *Fruticultura general.* 3<sup>ra</sup> ed. Editorial Limusa. Distrito Federal, México. 763 p.

## CONCLUSIONS

Thermo-pluviometric factors, when being related to outcomes in the experimental variables, allowed to attach a greater decrease in yield of native populations and improved varieties in environments with greater incidence of frosts during grain filling.

Native varieties had less interaction between the localities, since the yield was less affected compared to the improved varieties.

Within the group of native varieties, those with the highest yielding presented intermediate earliness, a feature that could prevent further damage during the grain filling of these varieties.

The variety CPue-131 had higher average yield, varieties CPue-131, CPue-448 and CPue-134 showed the less interaction between localities, while the variety CPue-448 had improved yield in the area of highest incidence of frosts.

*End of the English version*



- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008a. Datos históricos de temperatura mínima en Santa Cruz Coyotepec, Puebla, México. URL: <http://www.smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/pue/NORMAL21081.TXT>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008b. Datos históricos de temperatura mínima en Santa Inés Borbolla, Puebla, México. URL: <http://www.smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/pue/NORMAL21026.TXT>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008c. Datos históricos de temperatura mínima en Emiliano Zapata, Puebla, México. URL: <http://www.smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/pue/NORMAL21129.TXT>.
- 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.* 161:1153-1159.

- Gamalei, Y. V.; Van Bel, A. J. E.; Pakhomova, M. V. and Sjutkina, V. 1994. Effects of temperature on the conformation of the endoplasmic reticulum and on starch accumulation in leaves with the symplastic minor-vein configuration. *Planta*. 194:443-453.
- 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, Puebla. 113-136 pp.*
- 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. 37 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1997. Guía para la asistencia técnica agrícola. 3<sup>ra</sup> edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecamachalco, Puebla, México. 374 p.
- Jagels, R. 1970. Photosynthetic apparatus in *Selaginella*. II. Changes in plastid ultrastructure and pigment content under different light and temperature regimes. *Can. J. Bot.* 48:1853-1860.
- Kratsch, H. A. y Wise, R. R. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant Cell Environ.* 23:337-350.
- 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: Sexto Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey, N. L. Memoria. 131-147 pp.*
- 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. 741-743 pp.*
- 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. UACH. Chapingo, Estado de México. Serie: didáctica de la etnobotánica. Núm. 1. 283-297 pp.
- Muñoz, O. A. 2005. Centli Maíz. 2<sup>da</sup> edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Eestado de México. 210 p.
- Musser, R. L.; Thomas, S. A.; Wise, R. R.; Peeler, T. and Naylor, A. W. 1984. Chloroplast ultrastructure, chlorophyll fluorescens, and pigment composition in chilling-stressed soybeans. *Plant Physiol.* 74:749-754.
- Palacios de la R, G. 1985. Mejoramiento del maíz en México. *Revista Chapingo.* 47-49:9-43.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2005. Programa del fondo para atender a la población rural afectada por contingencias climatológicas. Distrito Federal, México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2007a. Sistema agropecuario de captura (SIACAP). Puebla, Puebla, México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2007b. Tarjeta informativa para prensa. Acciones para la competitividad en maíz, frijol, caña de azúcar y leche. Aguascalientes, México.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 1999. SAS Procedures Guide, Ver 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1643 p.
- Thomashow, M. F. 1998. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. *Plant Physiol.* 118:1-7.
- Van Hasselt, P. 1974. Photo-oxidative damage to the ultrastructure of *Cucumis* chloroplasts during chilling. *Proceedings Koninkl Nederl Akademie Van Wetenschappen Amsterdam Series. C 77:50-56.*
- Ventskevich, G. Z. 1961. Agrometeorology. Traducido del ruso. National Science Foundation. Washington, D.C. Vol. 1. 300 p.
- Wang, J. Y.; Bruton, M. D.; Luchessa, C. E. and Roper, T. J. 1982. The grower's weather guide for farming practices. Milieu Information Services, Inc. San José, California. 66 p.