

RESPUESTA MORFOLÓGICA Y FENOLÓGICA DE MAICES NATIVOS DE TAMAULIPAS A AMBIENTES CONTRASTANTES DE MÉXICO

PHENOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL RESPONSE OF TAMAULIPAS MAIZE TO CONTRASTING ENVIRONMENTS IN MÉXICO

José A. Pecina-Martínez^{1*}, M. Carmen Mendoza-Castillo¹, José A. López-Santillán²,
Fernando Castillo-González¹, Moisés Mendoza-Rodríguez³

¹Genética. Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (jpecina@colpos.mx) ²UAM. Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 87100. Ciudad Victoria, Tamaulipas. ³Fitotecnía. Universidad Autónoma Chapingo. 56230, Chapingo, Estado de México.

RESUMEN

Introducir germoplasma de maíz a un ambiente particular permite incrementar la diversidad genética existente, pero éste puede presentar cambios fenológicos y morfológicos, como consecuencia de su desadaptación, lo cual agrónomicamente puede ser indeseable. El objetivo del presente trabajo fue determinar los cambios fenológicos y morfológicos en maíz proveniente de diferentes regiones ecológicas del estado de Tamaulipas, México, en ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura. Se evaluaron cuatro grupos de poblaciones nativas de Tamaulipas y dos grupos de materiales mejorados, en los ambientes Trópico Seco, Transición y Valles Altos. Las variables estudiadas fueron días a floración masculina y femenina, asincronía floral y longitud de entrenudos, para fenología; y altura de planta, número de hojas, granos potenciales, hileras por mazorca, granos por hilera, granos totales y peso individual de grano para morfología. Los grupos de poblaciones de Tamaulipas mostraron una alta variabilidad e interacción con los ambientes respecto a las variables estudiadas; además mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en Trópico seco respecto a Transición y Valles Altos. El grupo de poblaciones del ambiente montañoso de Tamaulipas presentó un comportamiento fenológico y morfológico similar al grupo mejorado de los Valles Altos Centrales de México, en los ambientes de Transición y Valles Altos. Los grupos de áreas de baja altitud de Tamaulipas fueron más tardíos y asincrónicos, tuvieron plantas más altas y con más hojas. Las variables días a floración masculina y femenina, longitud de entrenudos, granos totales por mazorca, número de hojas totales y altura de planta mostraron cambios significativos en los ambientes evaluados; por tanto, podrían ser

ABSTRACT

Introducing maize germplasm into a particular environment can increase existing genetic diversity, but this can cause phenological and morphological changes as a consequence of its inability to adapt; agronomically, this may be undesirable. The objective of this work was to determine the phenological and morphological changes in maize from different ecological regions of the state of Tamaulipas, México, in environments that contrast in altitude, latitude and temperature. Four groups of native populations from Tamaulipas and two groups of improved materials were evaluated in Tropical dry, Transition, and High Valley environments. The variables studied for phenology were days to masculine and feminine flowering, floral asynchrony, and length of internodes; and for morphology the variables were plant height, number of leaves, potential grains, rows per ear, grains per row, total grains and individual grain weight. The groups of Tamaulipas populations exhibited high variability and interaction with the environment for the studied variables; besides, in Tropical dry climate they were significantly different ($p \leq 0.05$) from those in Transition and High Valley climates. The group of populations from the mountainous environment of Tamaulipas had phenological and morphological behavior similar to that of the group of improved maize from the Central High Valleys of México in Transition and High Valley environments. The groups from low altitude areas of Tamaulipas were later and asynchronic; plants were taller and had more leaves. The variables days to masculine and feminine flowering, internode length, total grains per ear, total number of leaves, and plant height showed significant differences among the environments evaluated; therefore they could be considered indicators of response to environmental effects on introduced populations.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Mayo, 2008. Aprobado: Enero, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 681-694 . 2009.

consideradas indicadores de respuesta a los efectos ambientales sobre las poblaciones introducidas.

Palabras clave: *Zea mays* L., efectos ambientales, indicadores de respuesta, maíz, poblaciones nativas, Tamaulipas.

INTRODUCCIÓN

El maíz se originó y domesticó en México, su diversificación en numerosas razas es testimonio de su distribución (Vavilov, 1951), posee una amplia variabilidad genética expresada en una gran cantidad de poblaciones (Sánchez *et al.*, 2000), de las cuales algunas muestran una alta capacidad de rendimiento per se o en combinación con otras (Morales *et al.*, 2007), por lo que son consideradas un valioso recurso fitogenético. En México existen bancos de germoplasma de maíz con una amplia representación de la diversidad existente; sin embargo, Baja California, Tabasco, el norte de Chiapas y la región montañosa de Tamaulipas, no están totalmente exploradas respecto a dicha diversidad; por tanto, no hay información sobre los riesgos de degradación, pérdida (Ortega *et al.*, 1991) y contaminación con material transgénico (Quist y Chapela, 2001) del maíz en estas regiones. En Tamaulipas, el germoplasma nativo conservado por los agricultores ha sido reconocido por su alto potencial de rendimiento y otras características agronómicas; sin embargo, se ha realizado poca investigación y mejoramiento genético con este germoplasma en los últimos 20 años (Reyes y Cantú, 2006).

En este contexto, en 2001, la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) implementó un programa de conservación y manejo de germoplasma de maíz nativo del estado, el cual comenzó con la exploración, recolección y evaluación del mismo. Se puso énfasis en la región centro-sur, que incluye la zona Montañosa del suroeste del estado, con altitudes hasta de 1860 m. Se han recolectado aproximadamente 250 poblaciones nativas de 12 municipios del centro y suroeste del estado, encontrándose entre ellas un gran potencial de producción (Pecina y López, 2004).

La introducción de germoplasma de maíz exótico a un ambiente particular permite aumentar la diversidad genética del cultivo (Goodman, 1985). Sin embargo, esto por lo general provoca cambios fenológicos y morfológicos, algunos de los cuales pueden

Key words: *Zea mays* L., environmental effects, response indicators, maize, native populations, Tamaulipas.

INTRODUCTION

Maize originated and was domesticated in México; its diversification in numerous races is testimony to its distribution (Vavilov, 1951). Its genetic variability is expressed in a large number of populations (Sánchez *et al.*, 2000), of which some exhibit a capacity for high yield per se or in combination with others (Morales *et al.*, 2007) and are considered valuable plant genetic resources. In México, there are maize germplasm banks in which the broad existing diversity is represented. However, regions such as Baja California, Tabasco, northern Chiapas and the mountainous region of Tamaulipas have not been totally explored in terms of this diversity and therefore there is no information on the risks of degradation, loss (Ortega *et al.*, 1991) or contamination by transgenic material (Quist and Chapela, 2001) in maize of these regions. In Tamaulipas, native germplasm preserved by farmers has been recognized for its high yield potential and other agronomic traits. Little work, however, has been done in research and genetic improvement of this germplasm in the last 20 years (Reyes and Cantú, 2006).

In this context, in 2001 the Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias, of the Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) implemented a conservation and management program for the state's native germplasm, which began with exploration of the region, collection and evaluation of the maize found. Focus was on the central-southern region, which includes the mountainous zone of the southwestern part of the state, with altitudes of up to 1860 m. Over these years approximately 250 native populations have been collected from 12 municipalities; among these were found some with high productive potential (Pecina and López, 2004).

Introduction of exotic maize germplasm into a different environment can increase genetic diversity of a crop (Goodman, 1985). However, this generally produces phenological and morphological changes, some of which may be agronomically undesirable, but through genetic improvement it is possible to obtain new populations in which the desirable traits of introduced maize have been incorporated (Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000).

ser agronómicamente indeseables, pero mediante el mejoramiento genético es posible obtener nuevas poblaciones a las que se hayan incorporado los caracteres deseables de los maíces introducidos (Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000).

La germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica delimitan las etapas vegetativa, reproductiva y de llenado de grano; la duración de cada etapa depende del genotipo que interactúa con la temperatura y el fotoperíodo del ambiente donde se desarrolla el cultivo (Bolaños y Edmeades, 1993). El maíz como otras especies, posee adaptaciones morfológicas en respuesta a las condiciones ambientales donde se desarrolla. Tales adaptaciones se manifiestan como modificaciones en la altura de la planta, el número, tamaño y ángulo de las hojas, número de ramificaciones de la espiga, etc., producto de la selección natural o artificial (Bolaños y Edmeades, 1993).

Con base en lo anterior, la hipótesis del presente trabajo fue que el germoplasma de maíz recolectado en la zona centro-sur de Tamaulipas, cultivado en condiciones ambientales de altitud, latitud y temperatura diferentes a las de su origen ecológico, presenta cambios en su comportamiento fenológico y morfológico, lo que permitirá la detección de su variabilidad genética. El objetivo fue determinar los cambios fenológicos y morfológicos en maíz proveniente de diferentes regiones ecológicas de Tamaulipas, en ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio incluyó 29 poblaciones nativas clasificadas por su origen ecológico en cuatro grupos: grupo 1=zona centro, clima cálido subhúmedo; grupo 2=zona del ex IV Distrito, clima semicálido seco; grupo 3 = zona de la Huasteca, clima cálido húmedo; grupo 4=zona montañosa del suroeste tamaulipeco, clima templado seco (Figura 1). Además, se estudiaron otros dos grupos integrados por variedades mejoradas: grupo 5, por dos variedades del estado de Tamaulipas, y grupo 6 por cuatro variedades de los Valles Altos Centrales de México (Cuadro 1).

Durante el ciclo de siembra primavera-verano de 2006, se establecieron tres ensayos en ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura (Cuadro 2), los cuales se identificaron y manejaron de la siguiente manera: 1) Trópico seco (TS): sembrado el 9 de marzo, en la Posta Zootécnica Ing. Herminio García González de la UAT, en el municipio de Güemez, Tamaulipas, con clima (A) Ca (wo) (e) w" (García, 1987); 2) Transición (TRN): sembrado el 27 de marzo, en terrenos del Consejo de Desarrollo Cinta Larga del municipio de Mixquiahuala, Hidalgo,

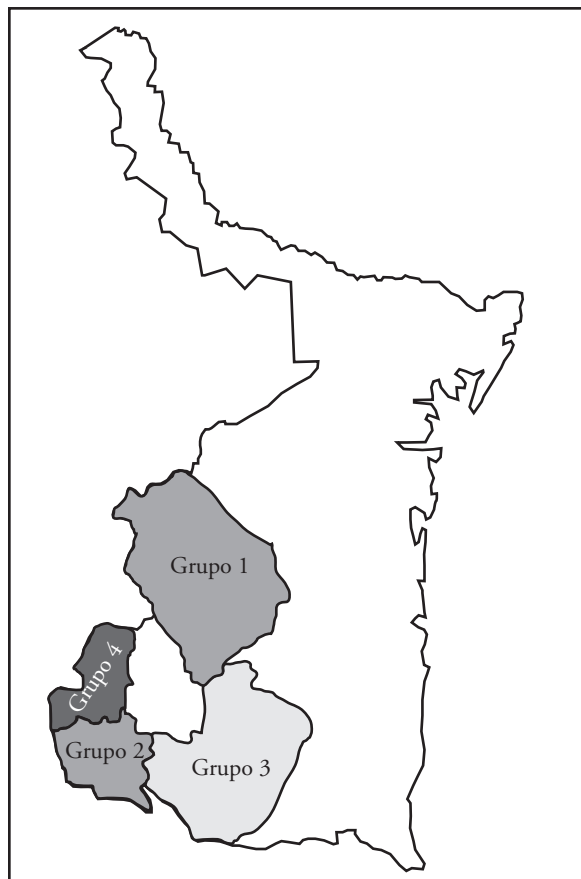


Figura 1. Mapa del estado de Tamaulipas donde se señalan las zonas que conforman los diferentes grupos de poblaciones. Grupo 1=zona centro; grupo 2=zona del ex IV Distrito; grupo 3 = zona de la Huasteca; grupo 4=zona montañosa del suroeste de Tamaulipas.

Figure 1. Map of the state of Tamaulipas showing the zones in which the different population groups were collected. Group 1=central zone; group 2=former District IV; group 3= Huasteca zone; group 4=mountainous zone of southwestern Tamaulipas.

Germination, initiation of flowering, flowering, and physiological maturity, respectively, delimit the vegetative, reproductive and grain-fill stages. The duration of each of these stages depends on the genotype which interacts with temperature and photoperiod of the environment where the crop develops (Bolaños and Edmeades, 1993). Maize, like other species, exhibits morphological adaptations in response to the environmental conditions in which it grows. These adaptations are seen as modifications in plant height, number, size and angle of the leaves, number of ramifications of the spike, etc., product of natural or artificial selection (Bolaños and Edmeades, 1993).

Cuadro 1. Grupos de poblaciones de maíz clasificadas con base en la zona y municipio de recolección en el estado de Tamaulipas y sus respectivos testigos.

Table 1. Maize population groups classified on the basis of the zone and municipality where they were collected in the state of Tamaulipas and their respective controls.

Origen	Grupo	Colecta
Recolecciones de Tamaulipas	1: Zona centro	C-3001 Padilla
		C-3004 Padilla
		C-3024 Hidalgo
	2: Zona del ex IV Distrito	C-3006 Tula
		C-3007 Tula
		C-3011 Tula
		C-3012 Tula
		C-3016 Tula
		C-3022 Tula
		C-3023 Tula
	3: Zona de la Huasteca	C-3003 Padilla
		C-3033 Llera
		C-3038 Llera
		C-3039 Llera
		C-3040 Llera
		C-3041 Llera
		C-3043 Llera
		C-3051 Gómez Farias Ocampo-05
	4: Zona montañosa	C-4021 Bustamante
		C-4022 Miquihuana
		C-4026 Miquihuana
		C-4028 Miquihuana
		C-4030 Miquihuana
		C-4031 Miquihuana
		C-4032 Miquihuana
		C-4034 Miquihuana
		C-4035 Miquihuana
Variedades mejoradas	5: Tamaulipas	UAT-Comp II Güemez-05
		H-437 INIFAP-05
	6: Valles Altos	VS-Chapingo 3 UACH-04
		VS-San Bernardino UACH-04
		H-San Juan UACH-05 H-San Isidro UACH-05

por su altitud de 2050 m se considera zona de transición; el clima es B Sl kw (i') gw" (García, 1987); 3) Valles Altos (VA): sembrado el 11 de mayo, en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, municipio de Texcoco, Estado de México, con clima Cb (wo) (w) (i') g (García, 1987).

En los tres ambientes la siembra fue manual, con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad experimental consistió de dos surcos, separados a 0.80 m. Se sembraron dos semillas por mata, a una distancia de 0.25 m, para dejar una planta y establecer una densidad de 50 000 plantas ha⁻¹. En Güemez, Tamaulipas, y Mixquiahuala, Hidalgo, se aplicó un

Based on the above, the hypothesis of this study was that maize germplasm collected in the south-central region of Tamaulipas and cultivated in environmental conditions that are different in terms of altitude, latitude and temperature from its ecological origin will exhibit changes in its phenological and morphological behavior, permitting detection of its genetic variability. The objective of the study was to determine what phenological and morphological changes in maize from different ecological regions of Tamaulipas occur in environments of contrasting altitude, latitude and temperature.

MATERIALS AND METHODS

This study included 29 native populations classified by their ecological origin in four groups: group 1=central zone, subhumid hot climate; group 2=former area of District IV, dry warm climate; group 3=Huasteca zone, hot humid climate; group 4=mountainous zone of southwestern Tamaulipas, dry temperate climate (Figure 1). Another two groups made up of improved varieties were studied as well: group 5, two varieties from the state of Tamaulipas, and group 6, four varieties from the high central valleys of México (Table 1).

During the 2006 spring-summer planting season, three experiments were set up in environments with contrasting altitude, latitude and temperature (Table 2), which were identified and managed in the following manner: 1) Tropical dry (TS): planting on March 9 in the Ing. Herminio García González Posta Zootécnica of the UAT, in the municipality of Güemez, Tamaulipas, with (A) Ca (wo) (e) w" climate (García, 1987); 2) Transition (TRN): planting March 27 in land of the "Cinta Larga" Development Council, municipality of Mixquiahuala, Hidalgo; because of its altitude of 2050 m, it is considered a transition zone having B Sl kw (i') gw" climate (García, 1987); 3) High Valleys (VA): planting on May 11 in the Montecillo Experimental Station, Montecillo Campus, Colegio de Postgraduados, municipality of Texcoco, State of Mexico, with Cb (wo) (w) (i') g climate (García, 1987).

In the three environments planting was done manually; the experimental design was complete randomized blocks with three replications. The experimental unit was two rows 0.80 m apart. Two seeds were deposited in each hole separated by a distance of 0.25 m; only one plant was left for a density of 50 000 plants ha⁻¹. In Güemez, Tamaulipas, and Mixquiahuala, Hidalgo, the land was irrigated once before planting, while in Montecillo seeds were planted in dry soil and irrigated immediately after planting. There was no moisture restriction; irrigation was applied five times. Plants were hoed twice and fertilized with one application of 80-60-00; weed and pest control was done following recommendations for maize in each environment.

Cuadro 2. Características de tres ambientes donde se evaluaron grupos de poblaciones de maíz durante 2006.
Table 2. Characteristics of the three environments where maize population groups were evaluated during 2006.

Ambiente	Altitud (m)	Latitud norte	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Trópico seco	200	23° 56'	23.8 °C	800 mm
Transición	2050	20° 14'	17.0 °C	509 mm
Valles Altos	2250	19° 29'	15.0 °C	645 mm

riego de presiembra, y en Montecillo se sembró en suelo seco y el riego fue inmediatamente después de sembrar. No hubo restricción de humedad debido a la aplicación de cinco riegos. Se realizaron dos aporques y se fertilizó con una dosis de 80-60-00; el control de maleza e insectos se hizo según las recomendaciones para maíz en cada ambiente.

Las variables registradas en todos los ambientes se clasificaron en fenológicas y morfológicas. Las fenológicas fueron: días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), contados desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de la parcela iniciaban la liberación del polen y la exposición de estigmas; asincronía floral (AF) como la diferencia entre DFM y DFF; longitud de entrenudos, mediante muestreos desde la iniciación de la inflorescencia femenina (en Valles Altos), durante el desarrollo de la misma (Valles Altos y Transición), y floración-llenado de grano (en los tres ambientes); se midió la longitud de nueve entrenudos consecutivos del tallo, en sentido acrópeto, asignándose en todos los grupos el número siete al nudo inmediato superior a la inserción de la mazorca principal. Las variables morfológicas fueron: altura de planta (AP, cm) en cinco plantas por repetición, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera; número de hojas totales (HT) en tres plantas por repetición; número de granos potenciales (GP), se contó el número de florecillas formadas en tres inflorescencias femeninas por repetición; número de hileras por mazorca (HM) determinadas en cinco mazorcas en cada repetición; número de granos por hilera (GH) enumerados en las mazorcas usadas para HM; número de granos totales por mazorca (GT) se obtuvo multiplicando HM×GH; peso individual de grano (PIG) se tomó como el promedio del peso de 100 granos por repetición.

El análisis estadístico se realizó con SAS (1996), mediante análisis de varianza por ambiente y combinado con ambientes para los grupos de poblaciones; pruebas de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), y análisis gráficos. La prueba de F para cada factor de variación, incluyendo las interacciones, se hizo usando el cuadrado medio del error del modelo general, ya que éste se consideró como de efectos fijos. El modelo estadístico fue:

The variables recorded in all of the environments were classified into phenological and morphological variables. The phenological variables included days to masculine flowering (DFM), days to feminine flowering (DFF), flowering asynchrony (AF), and internode length. DFM was counted from planting to initial pollen release of 50 % of the plants of the plot, while DFF was from planting to exposure of stigmas. AF was the difference between DFM and DFF. Internode length was determined with samples taken at initiation of feminine inflorescence (in the High Valley), during feminine inflorescence development (High Valley and Transition), and from flowering to grain fill (in the three environments). The length of nine consecutive stem internodes was measured acropetally; in all of the groups the number seven was assigned to the internode immediately above the main ear. Morphological variables were plant height in cm (AP), total number of leaves (HT), number of potential grains (GP), number of rows per ear (HM), number of grains per row (GH), total number of grains per ear (GT), and individual grain weight (PIG). AP was measured in five plants per replication from the base of the stem to the flag leaf ligule. HT was counted in three plants per replication. GP was the number of small flowers formed in three feminine inflorescences per replication. HM and GH were determined in five ears of each replication. GT was obtained by multiplying HM×GH, and PIG was the average weight of 100 grains per replication.

The statistical analysis was done with SAS (1996). An analysis of variance for each environment and a combined analysis for population groups were performed; the Tukey test of means ($p \leq 0.05$) and graphic analysis were also used. The F test for each factor of variation, including interactions, was conducted using the squared mean of the error of the general model since this was considered to be fixed effects. The statistical model was:

$$Y_{ijk} = m + G_i + P_{j(i)} + A_k + AG_{ik} + AP_{kj(i)} + \epsilon_{ijk}$$

where Y_{ijk} = response obtained by the i th group of populations in the k th environment; m =general mean; G_i =effect attributed to the i th group of populations evaluated; $P_{j(i)}$ =effect attributed to the j th population nested in the i th group; A_k =effect attributed to the k th environment; AG_{ik} =interaction of environments by group; $AP_{kj(i)}$ =interaction environment by populations nested in groups; ϵ_{ijk} = experimental error.

RESULTS AND DISCUSSION

The interaction environments × population groups showed highly significant differences ($p \leq 0.01$) for all of the variables (Table 3); for this reason, genotypes were compared only within each environment. There were highly significant differences ($p \leq 0.01$) among

$$Y_{ijk} = m + G_i + P_{j(i)} + A_k + AG_{ik} + AP_{kj(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

donde, Y_{ijk} = respuesta obtenida por el i -ésimo grupo de poblaciones en el k -ésimo ambiente; m =media general; G_i =efecto atribuido al i -ésimo grupo de poblaciones evaluadas; $P_{j(i)}$ =efecto atribuido a la j -ésima población anidada en el i -ésimo grupo; A_k =efecto atribuido al k -ésimo ambiente; AG_{ik} =interacción ambientes por grupos; $AP_{kj(i)}$ interacción ambiente por poblaciones anidadas en grupos; ε_{ijk} =error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La interacción ambientes $\times$ grupos de poblaciones mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables (Cuadro 3), por lo cual las comparaciones entre genotipos sólo se realizaron dentro de cada ambiente. Hubo diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes y entre grupos de poblaciones para altura de planta, hojas totales, días a floración masculina y femenina, pero no para asincronía floral.

La altura de planta fue estadísticamente superior ($p \leq 0.05$) en el grupo de la Huasteca dentro de cada ambiente evaluado, con una diferencia de 88 cm de altura en Valles Altos con respecto a Trópico seco (Cuadro 4). Los grupos de poblaciones de Tamaulipas tuvieron una mayor altura de planta en el ambiente de mayor altitud, con la consecuente menor temperatura, lo cual coincide con reportes de materiales tropicales evaluados en los Valles Altos Centrales de México, ya sea per se o en cruza con materiales locales, que muestran mayor altura de planta y de mazorca (Carrera y Cervantes, 2002; Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000). Lo anterior agronó-

environments and among population groups in plant height, total number of leaves, days to masculine and feminine flowering, but not in flowering asynchrony.

Plant height was statistically superior ($p \leq 0.05$) in the Huasteca group in each of the environments evaluated, with a difference of 88 cm in High Valley relative to Tropical dry (Table 4). The Tamaulipas population groups were taller in the higher altitude environment where temperatures were lower, coinciding with reports of tropical materials evaluated in the high central valleys of México, where local plants were taller and ear higher, whether per se or crossed with local materials (Carrera and Cervantes, 2002; Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000). Agronomically, this is undesirable due to the high correlation between plant height and root lodging, which is a generalized problem in native populations (Antonio *et al.*, 2004), although it did not occur in the populations evaluated in our study (data not presented).

The total number of leaves varied among environments. Tropical dry had the lowest average and Transition the highest. In the Transition environment, most of the evaluated groups had higher numbers of leaves. The population groups from tropical environments had a significantly higher ($p \leq 0.05$) number of leaves than the high valley improved group, with one to three leaves more in the Transition environment and four to six leaves more in the High Valley environment. The Huasteca populations had the highest number of leaves in the three environments. The higher number of leaves observed in the Tamaulipas population groups grown in Transition and High Valley environments suggests

Cuadro 3. Cuadros medios del análisis de varianza combinado para variables morfológicas y fenológicas de grupos de poblaciones de maíz evaluadas durante 2006.

Table 3. Mean squares of the combined analysis of variance for morphological and phenological variables of maize population groups evaluated during 2006.

Factor de variación	Grados de libertad	Altura de planta	Hojas totales	Días a floración masculina	Días a floración femenina	Asincronía floral
Ambientes	2	254852 [†]	538 [†]	19865 [†]	18829 [†]	18 ns
Repeticiones (ambiente)	6	612	1	8	25	7
Grupos	5	6891 [†]	112 [†]	2111 [†]	2410 [†]	7 [†]
Poblaciones (grupos)	29	2611 [†]	4 [‡]	76 [†]	100 [†]	3 ns
Ambientes $\times$ grupos	10	541 [†]	23 [†]	344 [†]	573 [†]	19 [†]
Ambientes $\times$ poblaciones (grupos)	58	277 [†]	4 [‡]	9 [†]	13 [†]	2 ns
Error	204	157	1	2	3	2

[†] $p \leq 0.01$; [‡] $p \leq 0.05$; ns = no significativo.

Cuadro 4. Valores medios para la interacción entre grupos de poblaciones x ambientes en variables morfológicas y fenológicas durante 2006.**Table 4. Mean values for the interaction between population groups and environments in morphological and phenological variables during 2006.**

Ambiente	Grupo	Altura de planta (cm)	Hojas totales	Días a floracion masculina	Días a floracion femenina	Asincronia floral
Trópico seco	Zona centro	140.3 b	17.3 ab	67.5 d	69.9 c	2.4 a
	Zona del ex IV Distrito	139.2 b	17.1 ab	69.7 c	72.3 b	2.6 a
	Zona de la Huasteca	156.6 a	17.8 a	73.7 a	77.3 a	3.6 ab
	Zona montañosa	143.6 ab	16.4 b	67.2 d	71.7 b	4.6 b
	Tamaulipas	140.8 b	16.2 b	68.7 c	71.5 bc	2.8 a
	Valles Altos	130.8 b	17.8 a	71.6 b	78.3 a	6.7 c
	DSH	15.6	1.1	1.0	1.8	1.5
	Media	143.7 B	17.1 C	69.8 C	73.6 C	3.8 C
Transición	Zona centro	231.9 ab	23.0 a	93.1 b	96.8 b	3.6 ab
	Zona del ex IV Distrito	220.8 bc	22.4 a	92.0 b	96.2 b	2.8 ab
	Zona de la Huasteca	244.7 a	23.0 a	98.5 a	103.4 a	3.6 ab
	Zona montañosa	217.9 bc	19.5 c	81.1 c	83.6 c	2.4 a
	Tamaulipas	209.1 c	21.5 b	92.2 b	96.8 b	4.2 b
Valles Altos		221.0 c	20.1 c	82.2 c	84.3 c	2.7 a
	DSH	14.4	0.7	2.0	2.4	1.5
	Media	226.1 A	21.5 A	89.4 B	93.0 B	3.0 A
Valles Altos	Zona centro	235.7 b	22.0 b	102.8 b	106.7 b	3.9 a
	Zona del ex IV Distrito	220.7 c	21.1 b	100.5 c	103.7 c	3.5 a
	Zona de la Huasteca	255.1 a	23.1 a	106.6 a	110.9 a	4.2 a
	Zona montañosa	224.0 cb	18.2 c	86.4 d	88.2 d	3.4 a
	Tamaulipas	234.2 b	21.8 b	101.3 bc	105.2 bc	3.7 a
	Valles Altos	218.1 c	17.0 d	84.1 e	86.2 e	2.8 a
	DSH	1.0	1.3	1.5	1.7	1.8
	Media	231.7 A	20.4 B	96.3 A	99.3 A	3.6 A

En una columna, las letras mayúsculas indican diferencias estadísticas entre ambientes y las minúsculas diferencias dentro del ambiente ($p \leq 0.05$) ♦ In a column, upper case letters are for statistical differences between environments; lower case letters are for differences within environment ($p \leq 0.05$).

micamente es indeseable debido a la alta correlación entre esta variable y el acame de las plantas, problema generalizado en las poblaciones nativas (Antonio *et al.*, 2004); sin embargo, las poblaciones evaluadas en el presente trabajo no presentaron ese problema (datos no presentados).

El número de hojas totales varió entre ambientes: Trópico seco y Transición presentaron el menor y mayor promedio; en el ambiente de Transición la mayoría de los grupos evaluados tuvieron la mayor cantidad de hojas. Los grupos de poblaciones de origen tropical presentaron un número de hojas significativamente mayor ($p \leq 0.05$) que el grupo mejorado para valles altos, con una a tres hojas más en el ambiente de Transición y con cuatro a seis hojas más en Valles Altos; las poblaciones de la Huasteca mostraron la mayor cantidad de hojas en los tres ambientes. El mayor número de hojas observado en los grupos

that factors such as lower temperature and shorter photoperiod lead to greater vegetative development of the plant, coinciding with the findings of Andrade *et al.* (1996). Thus, in these environments, these populations could be used in plant breeding programs for forage production (Table 4).

Marked ($p \leq 0.01$) interaction between population and environment was exhibited in masculine and feminine flowering: with higher altitudes, lower temperature and lower latitudes, flowering occurred later. The groups of tropical origin were 22 to 26 days later in feminine flowering when grown in Transition environments and 31 to 35 days later in High Valley. Masculine flowering was similar. The Transition and High Valley environments contrast with the ecological origin of the groups in the lowlands, central zone and Huasteca of Tamaulipas, which in those environments were belated. The mountainous

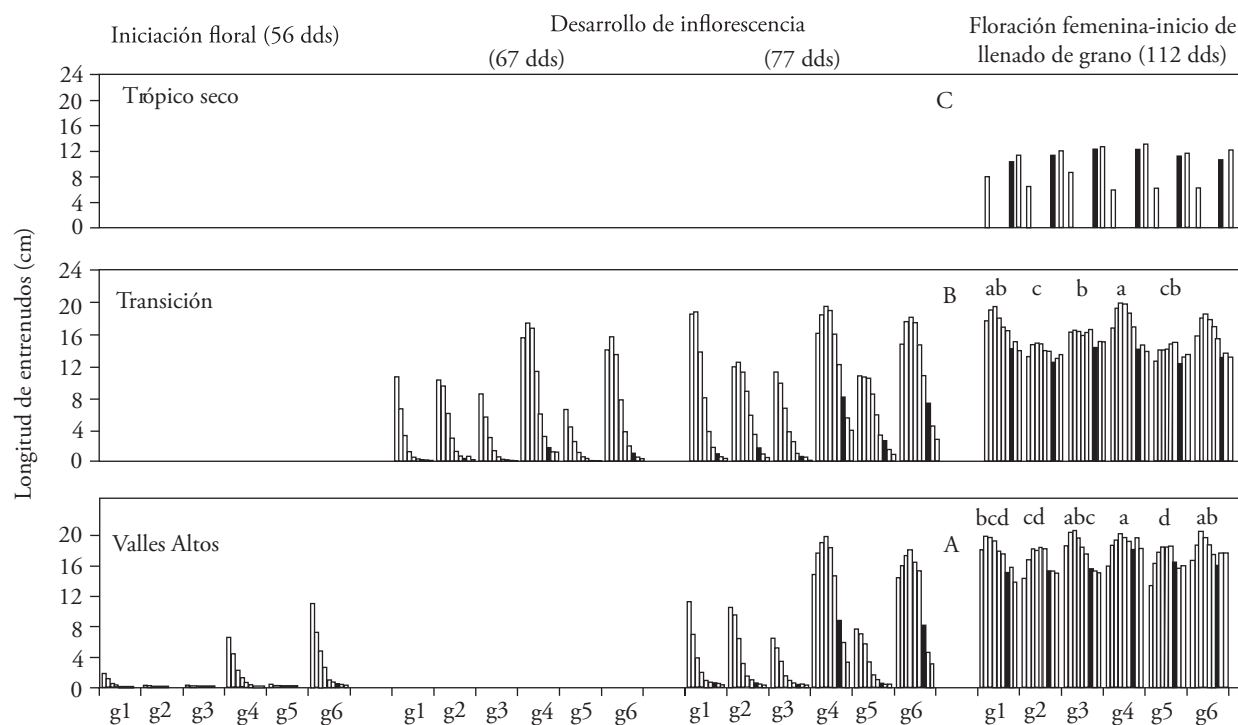


Figura 2. Dinámica de crecimiento de nueve entrenudos de seis grupos de poblaciones de maíz con distinto origen ecológico (g1=zona centro; g2=zona del ex IV Distrito; g3=zona de la Huasteca; g4=zona montañosa; g5=Tamaulipas; g6=Valles Altos) cultivados en tres ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura: Trópico seco, Transición y Valles Altos; dds=días después de la siembra. La barra negra representa el entrenudo superior al nudo de inserción de la mazorca. Las letras mayúsculas indican diferencias entre ambientes y las minúsculas diferencias entre grupos dentro del ambiente ($p \leq 0.05$).

Figure 2. Growth dynamics of nine internodes of six maize population groups with distinct ecological origin (g1=central zone, g2= former District IV, g3= Huasteca zone; g4=mountainous zone, g5=Tamaulipas, g6=high valleys) cultivated in three environments with contrasting altitude, latitude, and temperature: Tropical dry, Transition, and High Valley. Black bar represents the internode above the ear node. Upper case letters indicate differences among environments and lower case letters indicate differences among groups within an environment ($p \leq 0.05$).

de poblaciones de Tamaulipas en los ambientes de Transición y Valles Altos, sugiere que factores como menor temperatura y fotoperiodo corto conduce a un mayor desarrollo vegetativo de la planta, lo anterior coincide con lo mencionado por Andrade *et al.* (1996). Por tanto, en esos ambientes, esas poblaciones podrían ser usadas en programas de fitomejoramiento para la producción de forraje (Cuadro 4).

Los grupos de poblaciones tuvieron una marcada interacción ($p \leq 0.01$) con el ambiente en su floración masculina y femenina; con mayor altitud, menor temperatura y menor latitud, la floración fue más tardía. Los grupos de origen tropical fueron 22 a 26 d más tardíos en su floración femenina al cambiar del Trópico a Transición y 31 a 35 d del ambiente de Trópico a Valles Altos; la situación fue similar para la floración masculina. Los ambientes de Transición

region group apparently had environmental conditions similar to those of their ecological origin; in the Transition and High Valley environments they had behavior similar to that of the group of improved varieties from the high central valleys of México. Tollenaar (1991) found that days to flowering is highly correlated with number of leaves; which would explain why the late groups also had a higher number of leaves (Table 4).

In the Tropical dry climate (Figure 2) only one sampling was done; three internodes per plant were measured only at maturity. It was observed that the six population groups had shorter internodes (10.4 cm). In contrast, the final internode length in Transition (15.7 cm) and High Valley (17.9 cm) was different ($p \leq 0.05$) among the population groups in each of these two environments. Within each

y Valles Altos contrastan con el origen ecológico de los grupos de la parte baja, zona centro y Huasteca de Tamaulipas, que en estos ambientes fueron los más tardíos. El grupo de la zona montañosa al parecer tuvo condiciones ambientales parecidas a las de su origen ecológico, ya que en Transición y Valles Altos tuvo un comportamiento similar al grupo de variedades mejoradas para valles altos Centrales de México. Tollenaar (1991) mencionó que los días a floración están altamente correlacionados con el número de hojas, lo cual explicaría por qué los grupos más tardíos también tuvieron mayor número de hojas (Cuadro 4).

En el Trópico seco (Figura 2) se hizo un solo muestreo y se midieron sólo tres entrenudos por planta a la madurez; se observó que los seis grupos de poblaciones presentaron la menor longitud (10.4 cm). En comparación, la longitud final de los entrenudos en Transición (15.7 cm) y Valles Altos (17.9 cm) fue diferente ($p \leq 0.05$) entre los grupos de poblaciones en cada uno de estos dos ambientes. Dentro de cada muestreo y entre muestreos, el grupo de la zona montañosa de Tamaulipas y el de variedades mejoradas de valles altos presentaron la mayor longitud de los entrenudos en la etapa de iniciación floral (Figura 2), principalmente en los entrenudos basales, en comparación con los grupos originarios de las partes bajas de Tamaulipas, los cuales apenas iniciaban su alargamiento. Lo anterior indica que estas poblaciones, de origen tropical, al crecer en ambientes templados modifican sus tasas de crecimiento considerablemente. La misma tendencia se observó en la medición hecha en la etapa de desarrollo de inflorescencias en los ambientes de Transición (Figura 2- Transición; 67 y 77 dds, días después de la siembra) y Valles Altos (Figura 2 77 dds), donde los grupos de la zona montañosa de Tamaulipas (grupo 4) y el de variedades mejoradas de los valles altos (grupo 6) también mostraron los entrenudos más largos y este alargamiento se dio primero en los inferiores al entrenudo siete y después en los superiores. En el último muestreo en Valles Altos, al inicio de llenado de grano de los materiales de la zona montañosa y de valles altos, y floración femenina de los demás grupos, los entrenudos en las poblaciones de los grupos de la zona centro de Tamaulipas y de la Huasteca alcanzaron el crecimiento de los grupos de la zona montañosa y de valles altos; donde sólo los grupos del ex IV distrito y las variedades mejoradas de Tamaulipas presentaron longitudes menores.

sampling and among samplings, the Tamaulipas mountainous region group and the high valley improved varieties had longer internodes, mainly the basal internodes, at the stage of initial flowering (Figure 2) than the groups originating in the lowlands of Tamaulipas, whose basal internodes at this stage were just beginning to lengthen. This indicates that the populations of tropical origin growing in temperate climates modify their growth rates considerably. The same trend was observed in the measurement of inflorescences during their stage of development in Transition (Figure 2-Transition 67 and 77 days after planting-dap) and High Valley (Figure 2-77 dap) environments, where the groups from the mountainous region of Tamaulipas (group 4) and the high valleys improved varieties (group 6) also had longer internodes; this lengthening occurred first in the internodes below internode 7 and later in those above it. In the last sampling in the High Valley environment at the beginning of grain-fill of materials from the mountainous region and from the high valleys, and during feminine flowering of the rest of the groups, the internodes in the populations of the groups from the central region of Tamaulipas and from the Huasteca region equaled the growth of the groups from the mountainous region and the high valleys; only the groups from the former District IV and the improved varieties from Tamaulipas had shorter internodes.

At the beginning of internode lengthening (floral initiation and inflorescence development), there was a marked acropetal gradient, from longer to shorter internodes; but when growth ended (flowering to beginning of grain-fill) the internodes immediately below the ear reached their maximum length, with differences of 2 to 4.5 cm longer than the ear internode (Figure 2-Transition and High Valleys). This behavior confirms the findings of Aitken (1977), who reported that during the initial reproductive stage of grasses a rapid lengthening of the stem internodes next to the reproductive nodes has repercussions in the final expression of plant height.

Lengthening of the internodes was different among the population groups. In Transition and High Valley environments, the groups from the mountainous region of Tamaulipas and the high valley improved varieties were the first to begin lengthening. This could be an indication of environmental effect

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para características de mazorca en grupos de poblaciones de maíz evaluadas durante 2006.**Table 5. Mean squares of the combined analysis of variance for ear traits in maize population groups evaluated during 2006.**

Factor de variación	Grados de libertad	Granos potenciales	Granos totales	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Peso individual de grano
Ambientes	2	75938 [†]	969647 [†]	60.5 [†]	4220.0 [†]	280194.0 [†]
Repeticiones (ambiente)	6	1875	6082	0.8	40.3	5144.0
Grupos	5	36465 [†]	16911 [†]	85.1 [†]	235.7 [†]	6651.7 [†]
Poblaciones (grupos)	29	19825 [†]	9551 [†]	6.9 [†]	39.5 [†]	4405.9 [†]
Ambientes x grupos	10	17226 [†]	35262 [†]	5.6 [†]	102.4 [†]	19833.0 [†]
Ambientes x poblaciones (grupos)	58	12591 [†]	5457 [‡]	2.1 ns	26.5 [†]	26484.0 [†]
Error	204	5062	3689	1.7	16.4	1375.9

[†] $p \leq 0.01$; [‡] $p \leq 0.05$; ns = no significativo.

Al inicio del alargamiento de los entrenudos (iniciación floral y desarrollo de inflorescencias), en la planta se estableció un marcado gradiente acrópeto de mayor a menor longitud, pero al terminar de crecer (floración-inicio de llenado de grano) los entrenudos inferiores inmediatos al de la mazorca alcanzaron la mayor longitud, con diferencias de 2 a 4.5 cm en relación al entrenudo de la mazorca (Figura 2- Transición y Valles Altos). Este comportamiento confirma lo reportado por Aitken (1977), de que durante la etapa reproductiva inicial de las gramíneas se presenta un rápido alargamiento de los entrenudos del tallo próximos a los nudos reproductivos y que repercute en la expresión final de la altura de la planta.

El alargamiento de los entrenudos se manifestó de manera diferencial entre los grupos de poblaciones. Los grupos de la zona montañosa de Tamaulipas y el de las variedades mejoradas de Valles Altos, en los ambientes Transición y valles altos iniciaron primero su alargamiento. Esto puede ser un indicador de la planta al efecto del ambiente ya que en las mismas condiciones ambientales, principalmente de baja temperatura y fotoperíodo corto, habrá poblaciones que crecen más rápido que otras, de acuerdo a su origen ecológico. En general, el crecimiento de los entrenudos en todos los grupos de poblaciones siguió la tendencia de la curva sigmoide (Morrison *et al.*, 1994).

Como en el caso de las variables fenológicas, la interacción ambientes x grupos de poblaciones mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables (Cuadro 5), por lo cual las comparaciones entre genotipos sólo se realizaron dentro de cada ambiente. Hubo diferencias estadísticas altamente

on the plant since in the same environmental conditions, mainly those of low temperature and short photoperiod, some populations will grow more rapidly than others, depending on their ecological origin. In general, growth of the internodes in all of the groups of populations followed a sigmoid curve trend (Morrison *et al.*, 1994).

As in the case of phenological variables, because the interaction environment x population group showed highly significant differences ($p \leq 0.01$) for all of the variables (Table 5), the genotypes were compared only within each environment. There were highly significant statistical differences ($p \leq 0.01$) among environments and population groups in the variables potential grains, total grains, rows per ear, grains per row and individual grain weight, suggesting that there is variability and specificity within and among the different population groups.

The number of potential grains in the High Valley environment differed significantly ($p \leq 0.05$) from the other environments, with an average difference above 7.7 %. This response could be due to the fact that the environmental conditions are nearly optimal for the crop; all of the groups expressed their maximum productive potential in this environment contrasting with the Transition and Tropical dry environments, which, of the specific conditions of our study, had the highest mean temperatures. Tropical dry differed statistically ($p \leq 0.05$) from the other two environments with smaller values in total grains per ear (Table 6), suggesting that this environment was that which caused the most stress for grain development due to the high temperatures during the flowering and grain fill stages (35-39 °C).

Cuadro 6. Valores medios de componentes del rendimiento de los seis grupos de poblaciones en los tres ambientes de estudio durante 2006.**Table 6. Mean values of yield components of the six population groups in three environments studied in 2006.**

Ambiente	Grupo	Granos potenciales	Granos totales	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Peso individual de grano (mg)
Trópico seco	Zona centro	523.8 bc	272.2 ab	10.6	25.4 a	248 a
	Zona del ex IV Distrito	514.3 bc	308.1 a	11.6	27.1 a	238 a
	Zona de la Huasteca	597.2 ab	269.0 ab	10.8	24.7 a	240 a
	Zona montañosa	524.0 bc	242.0 ab	11.6	20.3 a	174 bc
	Tamaulipas	501.3 c	260.8 ab	11.6	22.4 a	231 ab
	Valles Altos	653.5 a	173.5 b	12.8	12.7 b	165 c
	DSH	86.3	108.3	2.3	7.3	63
	Media	552.3 B	258.9 B	11.45 B	22.6 B	213 B
Transición	Zona centro	542.1	422.4 bc	11.9 cd	35.7 a	296 b
	Zona del ex IV Distrito	545.8	407.4 bc	11.9 cd	34.2 a	296 b
	Zona de la Huasteca	548.2	388.9 c	11.2 d	35.0 a	298 b
	Zona montañosa	573.8	443.6 ab	12.9 bc	34.5 a	307 b
	tamaulipas	543.2	407.5 bc	13.3 b	31.2 b	282 b
	valles altos	592.3	488.6 a	16.2 a	30.2 b	363 a
	DSH	78.9	47.1	1.2	2.5	30
	Media	559.1 B	424.5 A	12.58 A	34.0 A	306 A
Valles Altos	Zona centro	629.7	405.5 cd	11.8 d	34.4	283 c
	Zona del ex IV Distrito	571.7	423.2 cb	12.6 c	33.5	289 bc
	Zona de la Huasteca	582.3	377.0 d	11.5 d	33.0	287 bc
	Zona montañosa	601.2	453.1 b	13.2 c	34.4	315 b
	Tamaulipas	642.5	462.7 b	14.1 b	32.9	253 d
	Valles Altos	647.4	520.5 a	16.3 a	31.9	359 a
	DSH	78.6	40.7	0.8	3.1	29
	Media	601.9 A	432.5 A	12.9 A	33.5 A	301 A

En una columna, las letras mayúsculas indican diferencias estadísticas entre ambientes y las minúsculas diferencias dentro del ambiente ($p \leq 0.05$) ♦ In a column, upper case letters are for statistical differences between environments; lower case letters are for differences within environment ($p \leq 0.05$).

significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes y entre grupos de poblaciones en las variables granos potenciales, granos totales, hileras por mazorca, granos por hilera y peso individual de grano, lo cual sugiere que existe variabilidad y especificidad dentro y entre los diferentes grupos de poblaciones.

El número de granos potenciales en el ambiente de Valles Altos se diferenció significativamente ($p \leq 0.05$) de los otros ambientes, con una diferencia promedio superior a 7.7 %. Esta respuesta se puede deber a que las condiciones ambientales son cercanas a las óptimas requeridas por el cultivo, el cual expresó al máximo su potencial productivo en todos los grupos, en comparación con Transición y Trópico seco. Estos dos últimos presentaron temperaturas medias más altas, dentro de las condiciones del presente trabajo. Trópico seco se diferenció estadísticamente ($p \leq 0.05$) de los otros dos ambientes, con valores inferiores de granos totales por mazorca (Cuadro 6), lo que sugiere que fue el ambiente más estresante para

Among the population groups, only in the Tropical dry climate were there significant differences ($p \leq 0.05$) for potential grains; in this environment the group of high valley improved varieties had the highest average, suggesting that it has greater productive potential. However, these varieties in this same environment had a lower number of total grains; only 27 % of the grains filled, contrasting with the Tamaulipas populations with 45 to 60 % fully formed grains. It can be inferred that the group of improved varieties from the high central valleys of Mexico was the most susceptible to the conditions prevailing in the Tropical dry environment.

The number of rows per ear and grains per row, important grain yield components, had the lowest values ($p \leq 0.05$) in the Tropical dry environment, while Transition and High Valley had similar values ($p > 0.05$). In the case of rows per ear, in Tropical dry climate all of the population groups were similar, but in the other environments the groups of improved

el desarrollo del grano de maíz debido a las altas temperaturas durante las etapas de floración y de llenado de grano (35-39 °C).

Entre grupos de poblaciones, sólo en Trópico seco existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para granos potenciales, donde el grupo de variedades mejoradas de valles altos presentó el promedio más alto, lo cual sugiere que posee un mayor potencial de producción. Sin embargo, estas variedades en este mismo ambiente tuvieron el menor número de granos totales pues sólo 27 % de sus granos potenciales llegaron a formarse como granos cosechados, a diferencia de las poblaciones de Tamaulipas donde sus granos potenciales formaron 45 a 60 % de grano. Esto permite inferir que el grupo de variedades mejoradas de los valles altos Centrales de México fue el más susceptible a las condiciones ambientales imperantes en el ambiente de Trópico seco.

El número de hileras por mazorca y los granos por hilera, componentes importantes del rendimiento de grano, presentaron los valores más bajos ($p \leq 0.05$) en Trópico seco, mientras que Transición y Valles Altos fueron similares ($p > 0.05$) entre sí. En el caso de hileras por mazorca, en Trópico seco todos los grupos fueron similares, pero en los otros ambientes los grupos de variedades mejoradas presentaron los valores más altos (Cuadro 6). Estos resultados indican que hileras por mazorca es importante como criterio de selección dentro de los programas de fitomejoramiento, ya que un mayor número de hileras se refleja en un mayor número de granos por mazorca. El número de hileras es una variable considerada estable; en el presente trabajo el grupo de variedades mejoradas de los valles altos no mantuvo esa estabilidad, ya que en el ambiente de Trópico seco disminuyó su número de hileras.

En Transición y Valles Altos el número de granos por hilera fue uniforme y todos los grupos presentaron valores altos (30.2 a 35.7 y 31.9 a 34.4). En Trópico seco el grupo de variedades mejoradas de valles altos presentó el valor más bajo ($p \leq 0.05$) de granos por hilera (12.7), mientras que los grupos de Tamaulipas fluctuaron entre 20 y 27. En los grupos de variedades mejoradas, tamaulipas y valles altos, se observó la relación de mayor número de hileras por mazorca con menor número de granos por hilera; en tanto, en las poblaciones de Tamaulipas esta relación fue inversa.

El peso individual de grano en Trópico seco fue significativamente inferior ($p \leq 0.05$) a los otros dos

variedades had the highest values (Table 6). These results indicate that rows per ear is important as a selection criteria in plant breeding programs since more rows means more grains per ear. The number of rows is considered to be a stable variable. In our study, however, this stability was not maintained in the group of improved varieties, which decreased in number of rows in the Tropical dry environment.

In Transition and High Valley environments the number of grains per row was uniform, and all of the groups had high values (30.2 to 35.7 and 31.9 to 34.4). In the Tropical dry environment the group of improved varieties from the high valleys had the lowest number ($p \leq 0.05$) of grains per row (12.7), while the Tamaulipas groups fluctuated between 20 and 27. In the groups of improved varieties, from tamaulipas and high valleys, a higher number of rows per ear with a lower number of grains per row was observed, while in the native Tamaulipas populations the relationship was inverted.

Individual grain weight in the Tropical dry environment was significantly lower ($p \leq 0.05$) than in the other two environments. In this environment, the group from the mountainous region of Tamaulipas and the group of improved varieties from the high valleys had the lowest values. It is inferred that this was a response to environmental effects since in the Transition and High Valley environments individual grain weight was higher and above 300 mg in each case (Table 6). In the Tropical dry environment the groups from the lowlands of Tamaulipas and the improved varieties (central zone, former District IV, Huasteca and tamaulipas) had individual grain weights near those reported by López *et al.* (2004) in the same environment and in prolific maize cultivars. These same groups in the High Valley environment had values within the interval considered large grains found by López *et al.* (2000) with endogamous maize lines from the high valleys. The tamaulipas group had low values in the three environments. In general, the Transition environment was the most benign for the development of the populations; here, there was greater uniformity among the populations and the best positive expression of some of the variables studied.

CONCLUSIONS

The native populations of Tamaulipas, México, included in this study, exhibited high variability and

ambientes. En dicho ambiente el grupo de la zona montañosa de Tamaulipas y el de las variedades mejoradas de los valles altos tuvieron los valores más bajos. Se infiere que la respuesta fue por efectos ambientales, ya que en Transición y Valles Altos el peso individual de grano fue más alto y mayor a 300 mg en cada caso (Cuadro 6). En Trópico seco los grupos de las zonas bajas de Tamaulipas y las variedades mejoradas (zona centro, ex IV Distrito, Huasteca y tamaulipas), presentaron un peso individual de grano cercano al reportado por López *et al.* (2004), en el mismo ambiente, en cultivares prolíficos de maíz. Estos mismos grupos en el ambiente de Valles Altos tuvieron valores dentro del intervalo observado por López *et al.* (2000) para líneas endogámicas de maíz de los Valles Altos, consideradas de grano grande. El grupo tamaulipas mostró valores bajos en los tres ambientes. En general, Transición fue el ambiente más benigno para el desarrollo de las poblaciones, presentando la mayor uniformidad entre poblaciones y la mejor expresión positiva de algunas de las variables estudiadas.

CONCLUSIONES

Las poblaciones nativas de Tamaulipas, México, incluidas en este trabajo, mostraron alta variabilidad e interacción con los ambientes donde se evaluaron en relación a las variables fenológicas y morfológicas estudiadas.

El número de hileras, granos por hilera, granos totales por mazorca y peso individual de grano, fueron negativamente afectadas en el ambiente de Trópico seco al presentar valores inferiores a los obtenidos en los ambientes de Transición y Valles Altos, debido posiblemente, al efecto negativo de altas temperaturas, típicas del Trópico seco.

El grupo de la zona montañosa de Tamaulipas mostró potencial para su adaptación a los ambientes de Transición y Valles Altos, ya que presentó un comportamiento similar al de las poblaciones de Valles Altos Centrales de México en la mayoría de las variables evaluadas.

Los grupos de la parte baja de Tamaulipas fueron negativamente afectados en los ambientes de Transición y Valles Altos, ya que tuvieron menor precocidad, mayor asincronía, altura de planta y número de hojas, con relación a su comportamiento en Trópico seco.

interaction with the environments where they were evaluated in terms of phenological and morphological variables.

The number of rows, grains per row, total grains per ear, and individual grain weight were negatively affected in the Tropical dry environment, having values lower than those obtained in the Transition and High Valley environments, possibly due to the negative effect of the high temperatures that are typical of the dry tropics.

The group from the mountainous region of Tamaulipas showed potential for adaptation to Transition and High Valley environments, exhibiting behavior similar to that of the populations from the High Central Valleys of México in most of the variables evaluated.

The groups from the lowlands of Tamaulipas were negatively affected in the Transition and High Valley environments; they were less precocious and had greater asynchrony, taller plant height and larger number of leaves relative to their development in the Tropical dry environment.

Days to masculine and feminine flowering, internode length, total grains per ear, total leaves per plant and plant height changed importantly from one environment to another; thus, they can be considered important indicators of environmental effects on introduced populations.

The native maize populations studied exhibited high genetic diversity, evidencing that in the state of Tamaulipas recently collected native populations have high potential for use locally and in other environments. Therefore, preservation and rational use of the genetic diversity of the maize found in this region should be promoted.

The evaluation of introduced germplasm should consider the environmental effects on phenological and morphological traits of the crop, not solely its productive traits. This will result in the generation of reliable information that can be used with greater certainty in defining the possibilities of using germplasm in a given environment.

—End of the English version—

---*---

Los días a floración masculina y femenina, longitud de entrenudos, granos totales por mazorca, hojas totales por planta y altura de planta mostraron cambios importantes de un ambiente a otro, por lo que podrían ser considerados como indicadores importantes de efectos ambientales sobre poblaciones introducidas.

Las poblaciones nativas de maíz estudiadas presentaron alta diversidad genética, lo cual sugiere que en el estado de Tamaulipas las poblaciones nativas, recientemente recolectadas tienen alto potencial para ser aprovechadas localmente y en otros ambientes. Por tanto, se debe procurar la preservación y uso racional de la diversidad genética de maíz encontrada en dicha región.

La evaluación de germoplasma introducido debe considerar los efectos ambientales sobre las características fenológicas y morfológicas del cultivo, y no sólo sus características productivas. Esto resultará en la generación de información fehaciente para definir con mayor certeza el potencial para aprovechar dicho germoplasma en un ambiente determinado.

LITERATURA CITADA

- Aitken, Y. 1977. Conceptos agronómicos y producción foliar. *Agrociencia* 28: 115-143.
- Andrade, F. H., A. G. Cirilo, S. Uhart, y M. E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa y DeKalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Antonio M., M., J. L. Arellano V., G. García S., S. Miranda C., J. A. Mejía C., y F. V. González C. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (1): 9-15.
- Bolaños, J., and G.O. Edmeades. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. *Field Crops Res.* 31:253-272.
- Carrera V., J. A., y T. Cervantes S. 2002. Comportamiento per se y en cruza de poblaciones tropicales de maíz seleccionadas en Valles Altos. *Agrociencia* 36: 693-701.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p.
- Goodman, M. M. 1985. Exotic maize germplasm: Status, prospects and remedies. *Iowa State J. Res.* 59: 497-527.
- López S., J. A., J. Ortíz C., y M. C. Mendoza C. 2000. Componentes del crecimiento de grano de líneas de maíz de peso contrastante de grano. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 141-152.
- López S., J. A., C. A. Reyes M., S. Castro N., y F. Briones E. 2004. Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(No. Especial 1): 23-26.
- Morales R., M. M., J. Ron P., J. J. Sánchez G., J. L. Ramírez D., L. Cruz L., S. Mena M., y S. Hurtado P. 2007. Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 285-294.
- Morrison, T. A., J. R. Kessler, and D. R. Buxton. 1994. Maize internode elongation patterns. *Crop Sci.* 34: 1055-1060.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. In: Ortega P., R. A., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., y M. Livera M. (eds). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Pecina M., J. A., y J. A. López S. 2004. Maíces (*Zea mays* L.) criollos de Tamaulipas con potencial para la producción de elote. Libro de Memorias. 16 Encuentro de Investigación Científica y Tecnológica del Golfo de México. pp: 92-95.
- Pérez-Colmenarez, A., J. D. Molina-Galán, y A. Martínez-Garza. 2000. Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34: 533-542.
- Quist, D., and I. H. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414: 541-543.
- Reyes M., C. A., y M. A. Cantú A. 2006. Maíz. In: Rodríguez B., L. A. (ed). *Campo experimental Río Bravo: 50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, Historia, logros y retos*. Libro técnico No. 1. INIFAP. México. pp: 55-74.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- SAS Institute Inc. 1996. *SAS User's Guide. Statistics*. Release 6.12 ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1028 p.
- Tollenaar, M. 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Sci.* 31: 119-124.
- Vavilov, N. I. 1951. *The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants*. K. Starr Chester (trans). The Ronald Press Co. New York. 94 p.