



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

**ADAPTACIÓN DE MAÍCES
ANCHOS TRASLOCADOS AL
AGROECOSISTEMA DE HUMEDAD
RESIDUAL EN EL SURESTE DEL
ESTADO DE MÉXICO**

JESSICA JAZMÍN GONZÁLEZ REGALADO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS


MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

La presente tesis titulada: **ADAPTACIÓN DE MAÍCES ANCHOS TRASLOCADOS AL AGROECOSISTEMA DE HUMEDAD RESIDUAL EN EL SURESTE DEL ESTADO DE MÉXICO**, realizada por la alumna: **JESSICA JAZMÍN GONZÁLEZ REGALADO**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO 
DRA. HEIKE VIBRANS LINDEMANN

ASESOR 
DR. EBANDRO USCANGA MORTERA

ASESOR 
DR. RAFAEL ÁNGEL DEL SAGRADO CORAZÓN ORTEGA PACZKA

ASESOR 
M. en C. MARÍA TERESA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2016

DEDICATORIA

Con amor y profundo agradecimiento

A mi esposo José Alberto

A mi hija

A mis padres

A mis hermanos

A mis suegros

A mis cuñadas y sobrinos

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de estudios.

A las siguientes instancias que por medio del financiamiento otorgado apoyaron el trabajo de campo de esta investigación:

Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo con el proyecto "Conservación in situ y mejoramiento participativo de maíces criollos en el sureste del Estado de México".

Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), bajo los auspicios de la Secretaría de Agricultura con el proyecto "Manejo integral del agroecosistema en el Estado de México".

A la Dra. Heike Vibrans Lindemann, mi consejera, por brindarme su apoyo, orientación y conocimientos durante el desarrollo de la investigación.

A mi consejo particular el Dr Rafael Ortega Paczka, M.en C. Teresa Rodríguez González y al Dr. Ebandro Uscanga Mortera por sus asesorías, sugerencias y revisiones durante esta investigación.

Al M en C. Antonio García Esteva, Dr. José Alberto Escalante Estrada, Dr. Rodolfo Nava, Dr. Carlos Trejo López y al Dr. Adrián Hernández Livera por su apoyo en el préstamo de equipo el cuál facilitó la fase de campo.

A Verónica López por su cordialidad y paciencia para llevar a cabo los trámites administrativos.

Al personal de campo, quienes colaboraron en la fase experimental llevada a cabo en el Colegio de Postgraduados: Sr. José Luis Deheza Santillan, Agustín Cerón Vázquez, Jaime Ruíz Peña y Ricardo de la Cruz Vázquez. En Chapingo a Marcos Moreno Moreno.

A M en C. Gerardo Valdez Eleuterio quien me asesoro en la prueba de viabilidad

Julio Alberto González Regalado, Diana Laura González Regalado, Emmanuel Parra Aguilar y Julio Cesar Parra Aguilar por el apoyo en la fase de campo.

A los agricultores del sureste del Estado de México quienes me apoyaron con su conocimiento y tiempo para recabar la información del capítulo etnobotánico.

CONTENIDO GENERAL	
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRAT	xiii
Capítulo 1 Introducción general	1
Capitulo 2 Does translocated maize adapt to the agricultural system, or the system to the maize? Tropical Ancho maize in a highland residual moisture system	5
ABSTRAT	6
2.1 INTRODUCTION	7
2.2 THE STUDY AREA	10
2.3 MATERIALS AND METHODS	12
2.4 RESULTS	17
2.5 DISCUSSION	28
2.6 CONCLUSIONS	33
2.7 ACKNOWLEDGEMENTS	33
2.8 REFERENCES	34
Capítulo 3 Adaptación morfológica de plántulas de maíz Ancho traslocado al agroecosistema de humedad residual	42

RESUMEN	42
3.1 INTRODUCCION	43
3.2 MATERIALES Y METODOS	49
3.3 RESULTADOS	61
3.4 DISCUSIÓN	73
3.5 CONCLUSIONES	76
3.6 LITERATURA CITADA	77
Capítulo 4 Discusión y conclusión general	83
4.1 DISCUSIÓN GENERAL	83
4.2 CONCLUSIÓN GENERAL	84
4.3 LITERATURA CITADA	85
ANEXOS	

INDICE DE CUADROS

Table 2.1. Details of the interviewed farmers	16
Cuadro 3.1. Información sobre las colectas utilizadas en los experimentos de maíces Anchos traslocados en el sureste del Estado de México	52
Cuadro 3.2. Porcentaje de humedad de las poblaciones de maíz a evaluar	53
Cuadro 3.3. Porcentaje de humedad de las poblaciones de maíz a evaluar	54
Cuadro 3.4 Relación entre once variables en prueba de emergencia a una profundidad de siembra de 20 cm, de 13 poblaciones de maíz de agroecosistemas de humedad residual	66

INDICE DE FIGURAS

Figure 2.1. Map of the study region showing the sites of the interviews	11
Figure 2.2. Multiple ears on a Chalqueño maize, illustrating the muñeco problem that leads to lower yields in warmer sites	19
Figure 2.3. The agricultural calender of the different maize populations in the southeastern part of the state of Mexico and of Morelos.	23
Figure 2.4. The photo on the left shows planting in systems with residual humidity, where seeds are sowed deep with the help of a planting stick (coa); on the right planting of Ancho maize is illustrated, where the seeds are dropped and covered with the foot for much shallower planting. These photos were taken in an experimental setting for a different project.	26
Figura 3.1. Plántula de maíz Chalqueño mostrando estructuras de coleóptilo y Mesocótilo	45
Figura 3.2. Poblaciones de maíces locales de la región de estudio	50
Figura 3.3 Cama de arena donde se sembraron las poblaciones a evaluar	55

Figura 3.4. Ilustración de la cama de arena al terminar el experimento. Se muestran las plántulas que germinaron pero no lograron emerger	57
Figura 3.5. Siembra a 15 cm de profundidad con una semilla previamente germinada	60
Figura 3.6. Comportamiento sobre la germinación y emergencia de las poblaciones locales de maíz sembradas en camas de arena a 20 cm de profundidad. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey (alfa de 0.05).	61
Figura 3.7. Velocidad de emergencia de las poblaciones locales de maíz evaluadas en camas de arena a 20 cm de profundidad (fórmula de Maguire, 1962). Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey (alfa de 0.05).	62
Figura 3.8. Comparación de las medias de las longitudes de mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones locales de maíz sembradas en camas de arena a 20 cm de profundidad. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey (alfa de 0.05).	63
Figura 3.9. Comparación de del peso seco de mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones locales de maíz evaluadas y sembradas en camas de arena a 20 cm de profundidad. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey (alfa de 0.05).	64
Figura 3.10. Variación de la longitud del mesocótilo en los experimentos de las camas de arena y rizotrones (Rizo 20, Rizo 15). Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey (alfa de 0.05)	67
Figura 3.11. Variación de la longitud del coleóptilo en los experimentos de las camas de arena y rizotrones (Rizo 20, Rizo 15). Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey ($p= 0.05$).	67

Figura 3.12. Influencia de la temperatura a 15°C y 21°C sobre de la media del crecimiento del mesocótilo y coleóptilo de todas las poblaciones locales de maíz evaluadas, bajo las tres profundidades de siembra (5, 15 y 20 cm). Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey ($p= 0.05$). 68

Figura 3.13. Influencia de la profundidad de siembra sobre el crecimiento del mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones de maíz evaluadas bajo temperaturas de 15°C y 21°C. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey ($p= 0.05$). 69

Fig. 3.14. Longitud media del mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones de maíz evaluadas bajo las temperaturas de 15°C y 21°C y tres profundidades de siembra 5, 15 y 20 cm. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey ($p= 0.05$) 70

Figura 3.15. Efecto de la temperatura (15° y 21°C) y profundidad de siembra (5, 15 y 20 cm) de las poblaciones evaluadas en rizotrones dentro de cámaras de ambiente controlad 72

INDICE DE ANEXOS

Anexo 2.1 Origin and dynamics of the seeds	86
Anexo 2.2 Reasons for the interest in particular maize cultivars	88
Anexo 2.3 Farmer's criteria for selecting ears and seeds for sowing	90
Anexo 2.4 Management of seed planting	91
Anexo 2.5 Farmer observations on germination and emergence	94
Anexo 2.6 Seed storage	96
Anexo 3.1. Variables adicionales de vigor en plántulas de maíz del Estado de México y Morelos, en condiciones de ambiente controlado: profundidad de siembra (5 cm, 15 cm y 20 cm) y temperatura (15 y 21)	97
Anexo 3.2. Variables adicionales de vigor en plántulas de maíz del Estado de México y Morelos, en condiciones de ambiente controlado: profundidad de siembra (5 cm, 15 cm y 20 cm) y temperatura (15 y 21)	98

ADAPTACIÓN DE MAÍCES ANCHOS TRASLOCADOS AL AGROECOSISTEMA DE HUMEDAD RESIDUAL EN EL SURESTE DEL ESTADO DE MÉXICO

Jessica Jazmín González Regalado, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2016.

Resumen

De las plantas domesticadas en Mesoamérica, el maíz es la contribución más importante para los seres humanos. El maíz Ancho, por su uso para elaborar pozole, es un ejemplo de un proceso de diversificación y expansión reciente. Es un maíz de regiones tropicales a semi tropicales, pero se ha extendido hacia regiones más elevadas (2400 m) en el sureste del Estado de México. Sus granos alcanzan un precio mayor al maíz local en el mercado. En el agroecosistema de estas regiones, basado en humedad residual, el maíz se siembra a una profundidad mayor (10-15 cm), que en otros sistemas de producción. Una adaptación importante de los maíces locales a esta condición es un mesocótilo más largo. Entonces ¿El maíz Ancho traslocado se adapta al sistema de producción o el sistema se modifica para acomodarse a las características del maíz? El objetivo fue entender la dinámica de mejoramiento empírico de las poblaciones traslocadas de maíz Ancho, con énfasis en semilla, siembra y plántula. Se describe el manejo de semillas y de la siembra en la región de humedad residual, y la región de origen del maíz Ancho. Los datos se obtuvieron en entrevistas repetidas y a profundidad con doce agricultores. Luego, se compara la capacidad de emergencia de varias poblaciones en camas de arena. Adicionalmente, se analiza la emergencia a distintas profundidades y temperaturas de suelo en rizotrones. Se muestra que el maíz Ancho traslocado es manejado en forma similar al maíz local. Se adopta parcialmente por motivos económicos, pero también por la susceptibilidad de los maíces locales a una malformación causada por temperaturas elevadas y estrés hídrico. El maíz traslocado reacciona a la siembra profunda inicialmente con una elongación del coleóptilo. El mesocótilo se elonga como una adaptación a largo plazo. Por lo tanto, el maíz se adapta al sistema en este caso.

Palabras clave: evolución de maíz, vigor, germinación, emergencia, mesocótilo, coleóptilo, maíz Chalqueño, maíz Cónico, etnobotánica, experimentación campesina, innovación campesina, sistemas agrícolas tradicionales

ADAPTATION OF TRANSLOCATED ANCHO MAIZE TO THE RESIDUAL HUMIDITY SYSTEM IN THE SOUTHEAST OF THE STATE OF MEXICO

**Jessica Jazmín González Regalado, M.Sc.
Colegio de Postgraduados, 2016.**

Abstract

Of the plant domesticated in Mesoamerica, maize is the most important contribution to humans. Ancho race maize is widely used for pozole, and is an example for diversification and recent expansion. It is a tropical or subtropical maize type, but has recently expanded to higher-elevation areas (2400 m) in the southeast of the State of Mexico. Its grains obtain a better price in the market. In the agroecosystem of these regions, based on residual moisture, the maize is planted a greater depth than in other production systems (10-15 cm). In local maize populations, an elongated mesocotyl is an important adaptation. So, does the translocated Ancho maize adapt to this production system, or is the system modified to accommodate the properties of the maize? This work aims to understand the dynamics of empirical crop improvement of these translocated maize populations, focussing on seeds, planting and seedlings. It describes management of seeds and planting in the residual moisture region, and in the area of origin of the Ancho maize. The data were obtained from repeated, in-depth interviews with twelve farmers. Then, emergence ability is compared between various populations in a sand bed. Additionally, emergence under different seeding depths and temperatures is analyzed in a rhizotrons. We show that the translocated Ancho maize is managed similarly to the local maize. The maize is adopted partially for economic reasons, but also because of the susceptibility of the local maize to a malformation caused by higher temperatures and water stress. The translocated maize initially reacts to deep planting by elongating the coleoptile. The mesocotyl elongates after a longer period of adaptation. In conclusion, the maize adapts to the system in this case.

Keywords: maize evolution, vigor, germination, emergence, mesocotyl, coleoptile, Chalqueño maize, Cónico maize, ethnobotany, farmer experimentation, farmer innovation, traditional agricultural systems

Capítulo 1. Introducción General

Mesoamérica es un centro de origen de la agricultura y diversidad de aproximadamente 225 especies vegetales domesticadas (Vavilov, 1931; Kato *et al.*, 2009). El maíz es la contribución más importante - el 50% de las calorías necesarias para la población mundial son aportadas por tres poáceas: maíz, trigo y arroz (Wilkes, 1993). En el continente Americano la diversidad de maíz está representada aproximadamente por 220-350 razas (Bird and Goodman, 1977; Vigouroux *et al.*, 2008). En las tierras Altas de México se encuentra la mayor diversidad del maíz, 59 razas (Sánchez *et al.*, 2000).

La diversificación de este importante cereal se debió a la gran variedad de microambientes naturales y agroecosistemas existentes en la región, la especificidad de las poblaciones de maíz y su reproducción alógama, la influencia de los pobladores en la selección de los materiales de acuerdo a sus necesidades, costumbres y creencias y a la migración de los materiales, principalmente a causa del comercio, o intercambios de semillas por las diferentes culturas y/o habitantes de las regiones (Goodman y Brown 1998; Sánchez *et al.* 2000; Ortega, 2003; Pressoir y Berthaud 2004 y Muñoz, 2005).

Los agricultores de pequeña y mediana escala actualmente son los que mantienen y manejan la diversidad de maíz en sus sistemas tradicionales de cultivo (Pressoir y Berthaud 2004; Perales *et al.* 2005). Esta diversidad se incrementa notablemente con la introducción de material genético de otras regiones (Louette *et al.* 1997). El intercambio de semillas entre agricultores o la compra de semilla principalmente en los mercados locales o regionales es una práctica común, debido a la curiosidad de los agricultores por experimentar con nuevos cultivares, después de pasar catástrofes naturales (heladas, sequias y tormentas tropicales) ó padecer conflictos sociales (Ortega, 2003; Louette, 1995).

Los agricultores mejoran continuamente su material de siembra. Experimentan con nuevo germoplasma, pero tienen en mente que una semilla de otra región podría

no desarrollarse bien; también saben que si se cruzan con sus cultivares, las cualidades pueden mejorar notablemente (Ortega, 2003). De esta manera, los agricultores se adaptan a las circunstancias cambiantes del mercado o modificaciones ambientales.

En el próximo medio siglo se prevé un cambio climático debido al aumento en la temperatura de 3-5 °C, regímenes de precipitación alterados y escasez de agua (IPCC 2007; Lobell *et al.* 2008). Se pronostican escenarios poco alentadores en los próximos 50 años para las regiones productoras de maíz. En México se espera que por cada generación el incremento de temperatura sea de 0.08°C, nueve veces más de lo antes experimentado. La preocupación radica en la capacidad de adaptación de las variedades locales al clima que cambia rápidamente (Hellin *et al.* 2014).

Cline (2007) estima que la producción agrícola en México podría disminuir en un 25.7 % en 2080. Los efectos del cambio climático se traducirán en pérdidas y descenso en los ingresos para los agricultores de la población rural, cuyo sustento depende del cultivo de maíz y frijol (Eitzinger *et al.* 2012), si no tienen acceso a germoplasma apropiado.

El maíz nativo puede tener un papel muy importante en la adaptación al cambio climático (Bellon *et al.* 2011). Se ha mostrado que en México, en la mayoría de los casos, los agricultores tienen acceso a germoplasma de sitios más áridos o calurosos en un radio de tan solo 10 km, debido a la orografía. Estos maíces poseen adaptaciones a las condiciones ambientales (pasando de árido a ambientes húmedos y de templado a ambientes tropicales) y agronómicas que existen en la agricultura tradicional e incluso en la comercial (Ruiz *et al.* 2008, Ortega, 2003). Las propuestas teóricas estudiadas, por las cuales los cultivares de maíz pueden responder al cambio climático, son la plasticidad fenotípica, evolución, el flujo de genes y la extinción (Mercer y Perales, 2010).

En esta investigación examinamos el mecanismo y resultado de la migración de un maíz tropical a un agroecosistema muy diferente, el de humedad residual de los Valles Altos. La pregunta de investigación se hace desde dos puntos de vista (etnobotánico y morfológico): ¿Cómo se adapta un cultivar nativo de maíz a nuevos ambientes?

Los maíces Anchos de regiones más calurosas se han extendido hacia regiones más elevadas (2400 m) en el sureste del Estado de México (maíces traslocados). En esa región el maíz Ancho obtiene un mejor precio (hasta \$20.00 el cuartillo) que el maíz Chalqueño e híbridos (\$8.00 el cuartillo), por su uso en el pozole.

El agroecosistema en la región sureste del Estado de México es de humedad residual (Fig. 1.1); el maíz se siembra a una profundidad mayor que en otros sistemas de producción, ya que el suelo conserva humedad incluso en la temporada seca. Un mesocótilo más largo es una adaptación importante de los maíces locales, para evitar que las hojas se desdoblen bajo la superficie del suelo (González, 1971; Vargas, 1966).



Figura 1.1 Terreno de cultivo de maíz en la región sureste del Estado de México.

Foto: H. Vibrans.

El objetivo de esta investigación es entender la dinámica de mejoramiento empírico de las poblaciones traslocadas de maíz Ancho, con énfasis en semilla, siembra y plántula. Para ello en el primer capítulo se describió el manejo de semillas y de la siembra por los productores de la región del cultivo de humedad residual, así como de la región de origen del maíz Ancho. En el segundo capítulo se compara la capacidad de emergencia experimentalmente en camas de arena, y se reporta sobre la variación de la longitud del mesocótilo y coleótilo a distintas profundidades y temperaturas de suelo en rizotrones.

Literatura citada al fin de las conclusiones generales

Capítulo 2. El maíz traslocado se adapta al sistema agrícola o el sistema al maíz? Maíz Ancho tropical en sistema de humedad residual en Valles Altos

Chapter 2. Does translocated maize adapt to the agricultural system, or the system to the maize? Tropical Ancho maize in a highland residual moisture system

Jessica Jazmín González-Regalado¹, Heike Vibrans^{1*}, Rafael Ortega-Paczka¹ and José Alberto Aguilar-Juárez¹

¹ Postgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos

² Dirección de Centros Regionales. Universidad Autónoma Chapingo

³ Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos.

* Corresponding author:

Heike Vibrans; heike@colpos.mx, heike_textcoco@yahoo.com.mx

Tel.: +52 595 9520200 extension 1335; Fax: +52 595 0520247

ABSTRACT

The Mexican tropical Ancho maize from the Balsas River basin has been introduced recently to elevations of 2200-2520 m in the southeast of the State of Mexico, Mexico. The grain is used in pozole, a popular stew, and thus obtains a higher price in the market. However, the residual moisture agroecosystem in the highlands has a lower average temperature, a longer growing cycle, and much greater planting depth. Do local farmers accommodate the new maize, or manage the translocated maize similarly to their traditional cultigens? Does the system adapt to the maize, or the maize to the system? We describe and compare the management of seeds and planting of the traditional and introduced maize populations. Twelve experienced farmers (ten in the highland region, and two from tropical Morelos) were interviewed in-depth and repeatedly, covering technical aspects and reasoning; participant observation also contributed data. Management of introduced maize was similar to that of traditional cultigens. Seed selection and intentional hybridization had other stated purposes, but probably the secondary effect of promoting adaptation. Moreover, the higher price of the grain, often offset by the lack of secondary uses compared with the local maize, only partially motivated the introduction. Another reason was the decrease in yields of the traditional Chalqueño maize, attributed in part to a perceived increase in average temperatures. So, the new maize was introduced in part to mitigate this problem. This study shows how local people adapt to changing circumstances if they have access to the appropriate resources.

Key words: land race, *Zea mays*, evolution, adaptation

2.1 INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is the most important grain produced worldwide. Together with a large number of other crops, it was domesticated in Mesoamerica, a region that extends approximately from Nayarit, San Luis Potosí and Veracruz in Mexico to Nicaragua, and is a center of origin of agriculture (Vavilov 1931; Hernández-Xolocotzi 1985; Kato 2009). This region still harbors the largest diversity of landraces and locally adapted populations. These locally adapted populations frequently do not do well if they are planted in other areas, and have to be adapted actively, often by introgression with resident maize types.

This diversity has been a focus of investigation for decades, mainly as a source of germplasm for scientific plant breeding, but also for other reasons related to conservation. Recently, global climate change has added urgency to exploring the adaptation of both seed material and agroecosystems (Mercer and Perales 2010; Bellon et al. 2011; Ureta *et al.* 2012).

Infraspecific diversity in cultivated maize of Mesoamerica has long been classified with an informal system. The main category is race (Anderson and Cutler 1942; Wellhausen *et al.* 1951; Hernández and Alanís 1970), which aggregates populations with a substantial set of common characteristics that distinguish them as a group differentiated from others. A race is capable of transmitting these features faithfully to subsequent generations and occupies a specific ecological area. Today, 59 native races are recognized in Mexico. They can be grouped into seven larger complexes based on a combination of morphological, ecological, agronomic, cytological and isoenzyme data (Sánchez-González 2011): Cónico, Sierra de Chihuahua, Ocho Hileras, Chapalote, Tropicales Precoces, Dentados Tropicales and Maduración Tardía; the literature uses these Spanish-language designations.

Most races consist of subraces, frequently marked by color and texture. These are further composed of local populations or cultigens, often hundreds. These local

populations are adapted to very specific agroecological conditions. Even within a village, families may have their own strains, selected and improved according to their criteria for generations. They vary substantially in color, grain size and texture, plant morphology, phenology (cycle length), physiology, yield and other agronomic characteristics. However, farmers also acquire and experiment with their seeds (Louette *et al.* 1997; Perales *et al.* 2003a; Bellon *et al.* 2011). Thus, most genebank accessions represent phenotypes that are intermediate between races. However, in some regions, some groups are selected very rigorously, both by people and by the local conditions, and represent relatively pure types.

Three main factors influenced this diversification. The first was the diversity of microenvironments in this region due to the mountainous terrain, diverse soils, and geographic location. The second factor was, and is, the influence of people, who selected materials according to their management practices, economic and technological environment, needs, tastes, customs and beliefs. Men play a dominant role in the selection for adaptation, and women for culinary uses (Muñoz-Orozco 2005). The third factor was the migration of seed through trade and seed exchange between different cultures and inhabitants of the regions. In Mesoamerica, humans, maize and culture evolved simultaneously (Muñoz-Orozco 2005). Thus, maize is an important part of the cultural, spiritual, economic and productive life of the Mexican rural families and communities.

Accordingly, traditional agroecosystems, their crops and seeds, are not static but highly dynamic. The farm family continuously improves its seed material, experiments with new germplasm, and adapts to changing circumstances in its life and surroundings. Sometimes “traditional” cultigens change from one generation to another. A traditional cultigen can be substituted for traditional, modern or other cultivars, just as new cultivars or cultigens are developed by crossing traditional cultigens with one another or modern hybrids, or new cultivars based on previous historical types (Perales *et al.* 2003a).

A number of studies have explored the response to market integration or environmental modifications. This dynamism may buffer the effects of climate change on local agroecosystems; interest in seed and cultigen dynamics have increased with the measurable and predicted effects of global climate change (Mercer and Perales 2010). It is one reason why *in situ* conservation of native germplasm is highly desirable - local improvements are adapted to the site, as Rice (2007) and Aguilar (2006) have shown for Jala maize.

On the Central Plateau of Mexico, specifically in the southeastern region of the federal state of Mexico, there are two distinct soil types for planting rainfed maize: soils with residual moisture reserves towards the end of the dry season, and soils without sufficient moisture reserves. In the first, farmers can plant more productive long cycle maize, whereas in the second they have to use populations adapted to relatively short growing cycles (Wellhausen *et al.* 1951). Traditionally, soils with residual moisture are planted with Chalqueño maize, and purely rainfed sites with Cónico maize; both races belong to the Cónico complex.

Previous observations showed that since approximately 2002, a tropical maize of the Ancho race has been translocated and adapted to a much higher-lying area with a residual moisture agroecosystem in southeast of the State of Mexico. Local farmers were trying to adapt this maize to elevations of about 2400 m and above (Aguilar and Gonzalez 2012). One reason for this change was the higher sales price of this tropical maize. It is used in a stew called pozole, which has become popular in central Mexico in recent decades. While Chalqueño and hybrid maize, used mainly for tortillas, fetch about eight Mexican pesos for a *cuartillo* (a volume measurement that corresponds to approximately 1.5 kg), the mealy and broad-grained Ancho obtains up to 20 pesos on certain dates, for example, around Independence Day on September 15 or Christmas. Normally, they can obtain 10 pesos at the farm gate or 15 pesos selling directly in local markets.

In this study, we explore the reasoning and results of the introduction of this tropical maize into the specialized tropical highland ecosystem. Do the farmers try to meet

the requirements of the introduced maize or does the maize have to adapt to the local environment and agroecosystem? We do not expect differences in the depth of seed planting due to the requirements of the residual moisture system. However, farmers might plant Ancho maize in warmer sites or later in the year. There may be differences in the way seeds are selected. To answer the question, we characterized and compared the management of seeds and cultivation of the two types of maize, plus the purely rainfed Cónico maize, based on in-depth interviews with local expert farmers.

2.2 THE STUDY AREA

The main study area was the southeastern region of the State of Mexico, consisting of the western and southern slopes of the Sierra Nevada with the Popocatepetl and Iztaccihuatl volcanoes, specifically the municipalities of Tepetlixpa, Amecameca, Cocotitlán and Juchitepec. In this region, maize is cultivated in an agroecosystem that exploits a soil type that conserves residual moisture from winter rains at a depth of 10-15 cm. Elevation of the study area ranges from 2100 to 2700 m; the climate is typical of subhumid tropical highlands: summer rains from May or June to October and a dry winter season with frosts, but some rains associated with cold fronts. Annual rainfall varies from 600 to 1200 mm, and average annual temperature from 12°C on the western slopes of the Popocatepetl and Iztaccihuatl volcanoes to 18°C in the areas adjacent to the state of Morelos. Hail is common, particularly between June and August (García 1988). The natural vegetation consists of pine-oak and fir forests.

For purposes of comparison, we also worked in a neighboring area with purely rainfed maize (Ixtapaluca) and a nearby medium-elevation site where Ancho maize has been cultivated for a long time (Santa Catarina, Tepetztlán, Morelos State) (Figure 2.1).

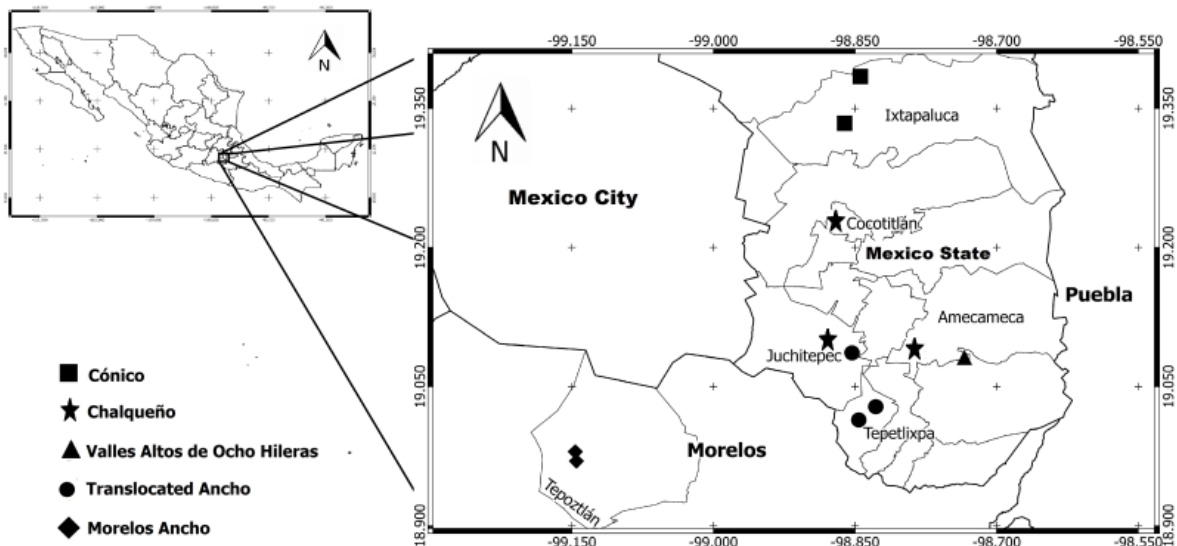


Figure 2.1 Map of the study region showing the sites of the interviews

The region, located near Mexico City, is well-communicated and has relatively advanced infrastructure (roads and highways, telephone, electricity, internet, schools and other services). The four municipalities of the study area had about 100 000 inhabitants in 2010. A considerable part of the population has indigenous roots. Most residents work in services or industry, but 23% are still mainly employed in agriculture.

The cultivated area varies between 20 000 and 21 000 ha. Farm size range from 1 o 100 ha; it is common for farmers to have plots with different agroecological conditions; renting plots is also common. Some areas are cultivated commercially, and their products are included in official statistics valued at about 533 000 pesos (equivalent to around 42,000 US dollars at the exchange rate for 2010). The most valuable commercial crops are wheat, potato, zucchini, maize grain and husk tomato (*Physalis philadelphica*) (all demographic and agricultural statistics from

INEGI 2010). However, there is also much production of various goods for subsistence and local sale that are not represented in these statistics. Local fixed and weekly markets play a large role in the commerce of agricultural products.

The main crop is maize. There is a rotation of cultigens - that is, farmers try not to plant the same type of maize for several years on the same plot. Sometimes, at irregular intervals, a crop of wheat, legumes (beans, fava beans or runner beans), squash, potato or husk tomato is integrated into the rotation. The most common soil types in our study area are regosols and andosols derived from volcanic ashes, though some other soil types (litosol, cambisol, feozem, fluvisol) also occur in the region (INEGI 2005; Aguilar and González 2012). Lower-lying areas, now mostly urbanized, have soils derived from lake sediments.

2.3 MATERIALS AND METHODS

The maize populations

The Ancho maize cultigens belong to the Ocho Hileras (Eight Rows) complex (Benz 1986; Sánchez *et al.* 2000) that has its center of diversity at low and middle elevations in the central-western portion of Mexico. They are medium-sized, short-cycle plants with almost cylindrical ears, 8-12 rows per ear and wide grains (8-14.8 mm). Grains are mostly dented, though with a tendency towards mealy (Benz 1986). The group is not yet well-described, but was considered in Kato-Yamakake (1967), Kato-Yamakake and McClintock (1981), Benz (1986) and Sánchez-G. (1989).

Ancho at present is widely cultivated at elevations between 800 and 1800 m in tropical subhumid climates with summer rains in Guerrero and adjacent regions (Morelos, Puebla, Michoacán, Jalisco, Mexico State). The average annual temperature is between 18 and 26°C, and annual rainfall between 400-1200 mm (Wellhausen *et al.* 1951, Ron-Parra *et al.* 2006, Gómez *et al.* 2013).

This maize is the preferred grain for the stew *pozole*, typical of western Mexico. It consists of cooked maize kernels, meat (usually pork), and vegetables. Ancho kernels absorb humidity well and burst upon cooking in lime (*nixtamalización*) in a way considered attractive (CONABIO 2010, Perales *et al.* 2003b). It has a good and growing market and may obtain a much higher price, which has led to an expansion of its cultivated area in recent decades (Perales *et al.* 2003b). Official data (SAGARPA 2008) report substantial increases in the area planted to maize for pozole from 2004 onwards. In 2010, the national production of maize for this use was estimated at 40 707 t (SAGARPA 2010).

The Cónico complex maize types dominate in the highlands of northern and central Mexico. They include many different grain types (dent, sweet, popcorn, mealy), colors and agronomic characteristics. The ears usually have the typical conical or pyramidal shape, numerous and somewhat irregular rows, relatively few tassel branches, a weak root system and some adaptations to the highland cold and hail, such as a darker color, particularly of the leaf base, and hanging leaves (CONABIO 2010).

The Chalqueño race, which belongs to the Cónico complex, is highly productive with vigorous germination and emergence, a long cycle, tall and has a relatively good resistance to mid-season drought (Ortega com. pers., Wellhausen *et al.* 1951; CONABIO 2010). It grows at elevations above 1800 m and up to 2700 m, but it can only be cultivated where the normal rainfed growing season can be extended by residual moisture or irrigation. It has large and conical ears with a large number of rows (14-22), which makes it easy to de grain by hand; the cob is medium to large. There are numerous color, husk and grain variants used for different purposes. The kernels are white, yellow, pink or blue with mealy to semi-dent or semi-flint textures (CONABIO 2010). The race is susceptible to lodging because of a weak root system. It has pendulous leaves, considered an adaptation to hail. Apart from the center of Mexico, it is also found in the higher-lying areas of

Durango, Zacatecas and northern Oaxaca (Wellhausen *et al.* 1951; CONABIO 2010).

The Cónico race maize populations are mainly distributed in the High Valleys of the states of Mexico, Puebla, Tlaxcala and Hidalgo and are concentrated between 1 800 and 2 800 m (Wellhausen *et al.* 1951; CONABIO 2011). They have conical ears, grains that are white, cream-colored, yellow, blue or red, and their texture varies from semi-flint to semi-dent. Their emergence is vigorous, they are cold tolerant and have short to medium cycles (Wellhausen *et al.* 1951).

The Valles Altos de Ocho Hileras maize (High Valley Eight-row maize) was suggested as a new race in 2012 (Aguilar and González 2012). The original collection had been identified as a false Ancho in 2009. This group has eight-row ears, a slim cob (2 cm), wide, oval grains and grows at elevations of 2600-2700 m. It was included in this study to see whether its management was similar to that of Chalqueño despite the morphological differences.

Interviews

The data on the management of seeds and cultivation were obtained from free and semi-structured interviews with twelve farmers. The interviewees were selected preferentially for experience, expertise and under various criteria. The ten highland farmers had collaborated with the project *Conservación y mejoramiento participativo de los maíces criollos del oriente del Estado de México* (Conservation and participative breeding of landrace maize types in the East of the State of Mexico) financed by the Chapingo Autonomous University (2002-2014) (Aguilar and González 2012). Additionally, they had conserved and selected their populations for at least five years and, as a group, cultivated a representative sample of the maize diversity of the region.

Authorization for the study was obtained from the local authorities (heads of the local agricultural development agencies and the *comisariados ejidales*, local land authorities). Also, we explained the project to every interviewee and obtained his or her oral consent.

We interviewed the ten farmers from the highlands between 2010 and 2015, repeatedly and in depth; we also participated in some agricultural activities. Three of them cultivated the translocated Ancho maize (a fourth one had just started), and represented an altitudinal gradient. Additionally, in 2015 we interviewed two farmers from Morelos, who cultivated Ancho and complied with the criteria mentioned above, except for the collaboration with the project. The highland Ancho populations are called *translocated Ancho* in this work, and the Morelos Ancho populations are called *Morelos Ancho*. Table 1.1 shows details of the interviewed farmers – age, site and elevation of their house, their agroecosystem type (residual moisture or rainfed), and the maize type cultivated for which they were included in the interviews (they cultivated more maize types, which are shown in Online Resource 1: Table 2).

All of the farmers were interviewed on the following subjects: origin of the seed material, reasons for cultivating and conserving the specific landrace, seed and plot selection, management of the seeds during planting, observations on emergence, and cultural practices in the fields and at harvest. The answers were documented in a form. The interviews were also audiorecorded when the interviewees gave permission (this was the case for the highland farmers, who already had a longer relationship with the researchers).

In-depth interviews, combined with participant observation, allow a more complete and multidimensional data collection than standardized surveys. However, it is often not possible to apply advanced statistical methods, both because of the relatively small number of informants that can be interviewed with this method, and because of difficulties in coding or standardizing the data. For our purposes, we

considered the in-depth method preferable. For this reason, the results are analyzed qualitatively and with simple statistics.

Table 1.1 Details of the interviewed farmers

Farmer	Age	Locality	Elevation (m)	Municipality	State	Agroecosystem	Maize race	
1	56	Tepetlixpa	2319	Tepetlixpa	Mexico State	Residual moisture	Ancho	
2	58	Cuecuecuautila	2293					
3	57	Cuijingo	2500	Juchitepec				
4	57	San Pedro Nexapa	2672	Amecameca			Valles Altos	
5	59	Zoyatzingo	2473					
6	50	Juchitepec	2524	Juchitepec			Chalqueño	
7	25	Juchitepec	2524					
8	nd	Cocotitlán	2240	Cocotitlán				
9	71	Ixtapaluca	2443	Ixtapaluca			Rainfed	Cónico
10	39	San Francisco	2303					
11	69	Santa Catarina	1710	Tepoztlán	Morelos	Rainfed	Ancho	
12	82*		1710					

nd: no data

*This was the only female farmer interviewed.

2.4 RESULTS

Origin and dynamics of the seed material

All of the interviewed highland farmers had conserved and improved their main type of maize for at least a generation (minimum 30 years, mostly longer; Online Resource 1: Table 2). They had originally obtained the maize seeds from family members such as fathers and grandfathers, but sometimes also from neighbors. Ancho maize in the high-lying areas was a relatively recent introduction, and other, minor types had changed over time. The two Morelos farmers selected only their main maize, the Ancho; all other types were bought or obtained elsewhere. One maize that was dominant earlier, Pepitilla, had almost disappeared. While interesting, this behavior may not be representative of all farmers of the region, as one of the conditions for including farmers in this study was that they had farmed the focus maize for at least five years.

Translocated Ancho maize, in particular, had been planted for 25 years in Tepetlixpa, for 15 years in Cuecucuatitla, for ten years in Cuijingo and one year in Juchitepec. The localities represent an elevational gradient (2250, 2410, 2445 and 2510 m, respectively). The Juchitepec farmer (number 6 in the tables) was included in the study because of his management of Chalqueño, and was cultivating Ancho for the first time. Therefore, we registered him in the results section, but could not include his observations on management. The first three sites initially obtained their seeds from Totolapan and Tlanepantla in Morelos; the farmer in Juchitepec acquired his seeds from within his locality, so the material had probably already undergone an adaptive process.

The Ancho maize experiment was not the first time that new maize types were tried in the region. New introductions were usually the result of experiments of a few farmers. Often, their experiments failed, or the results did not please the farmer, and the maize was abandoned. Others were successful, such as with the

introduction of translocated Ancho maize, and the maize was adopted by others. Other farmers had introduced Chalqueño populations from the Toluca valley and adapted them successfully.

Planting systems and motives for growing different cultivars

The main reason for growing various types of maize were their different uses, but economics and ecology also played a role (Online Resource1: Table 3). Only one farmer in our sample had just a single type of maize - he produced for sale, and had other sources of income. Half of our farmers (six) had two types: one commercial type, generally white or cream-colored, and one blue type for home use. Four farmers cultivated three types, and one had four (white, blue, Ancho and hybrid maize). If maize was grown for sale, it was mostly in monoculture and often by people who had other jobs. Farmers who did not have outside employment generally had animals and planted maize in polyculture or strips with runner, common and fava beans, squash, and fruit trees.

Chalqueño maize was cultivated not only for sale and home consumption of the grain: the stalks were widely used as forage for animals and the bracts (husks) for tamales. Farmers preferred this maize because it had a good yield, large ears, large grains, husk leaves (*totomoxtle*) that were good for tamales, silk that had medicinal uses, and because it produced much palatable straw for forage. The value of these secondary products was significant in economic terms. They were also sometimes used as payment (for example, bracts in exchange for harvesting the maize).

The disadvantage of this maize was precisely its tall stature, which made it more susceptible to lodging. Also, farmers had perceived a substantial decrease in yield at its lower elevation limit, between 2000 and 2300 m. Somewhat higher, at around 2500 m, there was the *muñeco* malformation that also affected yield. This syndrome consists of the development of numerous ears, mostly sterile, due to the

inhibition of apical dominance (Figure 2.2) (Ciampitti 2014). So, Chalqueño now only grew well between 2500 and 2700 m.

White and cream-colored types had longer cycles and thus yielded more (around four t/ha), and were cultivated on much larger areas (1-7 ha per farmer). The blue and yellow types had a shorter cycle and lower yield (0.5-2 t/ha) and were planted on smaller plots (0.25-1 ha). One farmer reported yields of 4 t/ha for blue maize, but that was an exception.



Figure 2.2 Multiple ears on a Chalqueño maize, illustrating the *muñeco* problem that leads to lower yields in warmer sites. Photo: R. Ortega-Paczka

Translocated Ancho was cultivated mainly in polyculture and for sale, but there was also home consumption and use as animal feed. Usually, farmers planted 1.0-1.2 ha of this maize, and the estimated grain yields were 1.5-2.5 t/ha. They liked the large grain and the better price. Also, this maize did not have lodging problems and was good support for climbing beans. Grains and straw together (and perhaps the beans) had a better monetary return than hybrid maize. The economic comparison with Chalqueño maize was complicated; Chalqueño maize grain was sold at a lower price, but the straw could be valuable - however, prices varied strongly from year to year. The husks were also sold but required additional labor. Ancho bracts were not as appropriate for tamales, and there was conscious selection to improve this trait.

The Valles Altos de Ocho Hileras maize was grown in polyculture with fava beans for home consumption. The farmer liked the ear characteristics: the large grain and thin cob. He cultivated it on 2.5 ha and obtained about 2.5 t/ha.

The Cónico maize in the rainfed agroecosystem of the region was cultivated in mono- or polyculture. It was mainly used in the home but was also sold and fed to animals. Farmers considered the grains to be of better quality than the hybrids, both because of taste and because they were somewhat softer; the yellow land races were better as animal feed, particularly for hogs and chicken. The bracts were not used for tamales because of their small size. The disadvantage of this maize was phytosanitary problems, particularly weevils, which sometimes attacked yellow maize while the seeds were still in the field. In the soils used for Cónico (i.e. without residual moisture), yields were lower than Chalqueño. Medium-cycle white and cream colored maize yielded about three t/ha, and the shorter-cycle yellow maize produced 2-2.5 t/ha. The fields were usually 2-2.5 ha in size, that is similar to Chalqueño.

The Ancho of Morelos was cultivated in rainfed fields, in monoculture, for both home use and sale. It was sometimes used for tamales, but rarely for animal feed

(also, the interviewed farmers did not have animals). The cultigen had problems with lodging in its area of origin. One interviewee commented that some of his neighbors planted Ancho in alternate rows with hybrids to reduce the problem.

Improved hybrids of various types were well-known and widely available in the region. The hybrids grown by the farmers of this study were the cultivars Niebla and HS-2 in the high-lying areas and the hybrids H-515 and H-516 in Morelos. The primary motive for growing hybrids was that these cultivars were not susceptible to *muñeco*, the grain well-accepted in the market and its seeds and fertilizers subsidized by the government. However, most interviewed farmers did not grow hybrids as they produced little straw, and what straw they did produce was unpalatable for the domestic animals. Farmers did not consume the grain themselves, nor give it to their animals. Hybrids yielded 6-8 t/ha, but had much higher input costs; particularly they required much more fertilizer than the landraces to reach these high yields. The bracts were small and unsuitable for tamales, and the grains were small, which was disliked. Also, farmers reported bad experiences with the commercial seeds they had bought: apparently they suspect that seed quality changes between years; however, it is also possible that the hybrids were simply not well-adapted to the variability of the local climate.

Management and agricultural cycle

Chalqueño was planted in early or mid-April, that is, about eight weeks before the beginning of the rainy season (Figure 2.3). Listering (planting in the furrow to concentrate the moisture from early rains) was also standard. The plants matured towards the end of November or at the beginning of December (about 7.5 months), and were then cut and sheafed for drying (*amogote*) for one or two months. The maize was also sheafed to conserve the maize bracts and straw and to permit harrowing which helps absorb the moisture of winter rains. The Valles Altos de Ocho Hileras was harvested at the same time as Chalqueño, but planted somewhat earlier (end of March). It also had a cycle of about eight months.

The translocated Ancho maize grown in the transition zone (between 2000 and 2300 m) was planted from mid-May to early June. This region was warmer and, according to the perception of the farmers, was becoming even warmer, with the corresponding disappearance of residual moisture. For this reason, they tried to plant at a time when the rainy season was already near. This maize matured, was cut and sheafed in November, and harvested in early December for a cycle of six and a half to seven months. It had an intermediate cycle (longer than the Morelos Ancho, and shorter than the translocated Ancho grown at higher elevations). Translocated Ancho in the higher zones (around 2500 m) was managed and planted in a way very similar to the local Chalqueño.

Cónico maize was cultivated under two systems: the normal rainfed (which was more common) and with residual moisture (rarely). It was planted from mid-April to early May and harvested from October onwards for a six-month cycle.

Morelos Ancho maize had a relatively short cycle. It was planted in mid-June, matured in November and was harvested shortly thereafter, for a cycle of about five and a half months. Farmers burned the straw of the previous year, whereas in the highland systems the straw was used as fodder (often sold in bales) or otherwise.

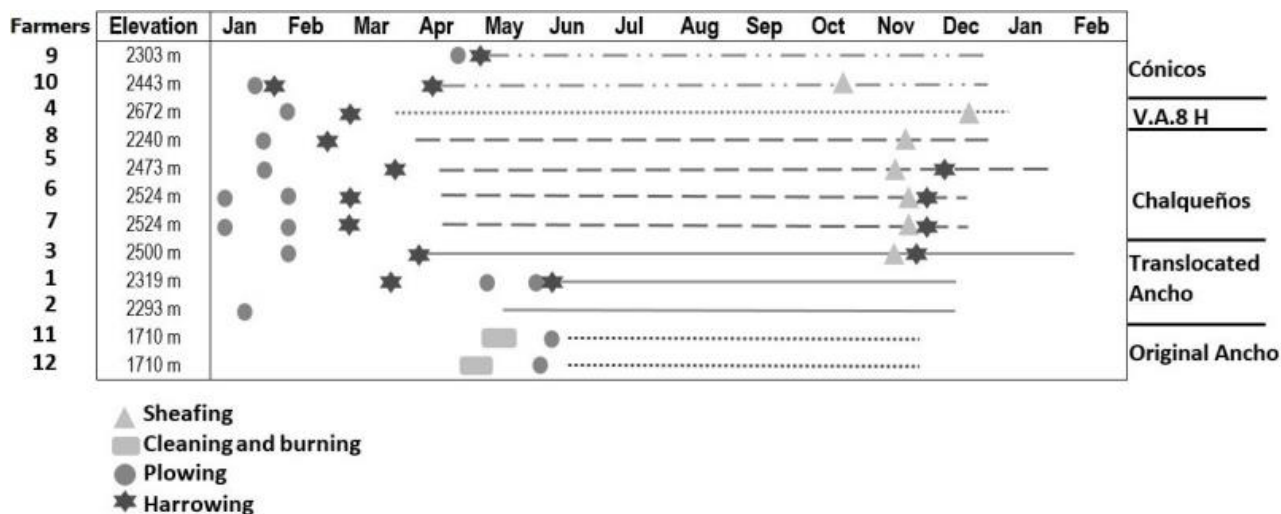


Figure 2.3 The agricultural calendar of the different maize populations in the southeastern part of the state of Mexico and of Morelos

Selection of seeds for planting

Most seeds for planting in the highland study area were selected at home, near the storage sites (see below), and during degrading for home use or sale, and mostly by women (Online Resource 1: Table 4). However, a few farmers observed and selected plants in the field, looking for healthy, well-developed plants with two ears (*cuateras* or twins) that competed well with neighboring plants. University researchers had suggested they adopt this practice. In Morelos, farm families selected seeds from their storage from November to early February, and considered ear and grain characteristics, such as healthiness, size, and type.

All ears and grains should be healthy and large. Morelos and translocated Ancho should have eight to ten rows. Morelos Ancho should have wide and white kernels. Translocated Ancho kernels should be wide, undamaged and well-shaped. One farmer said that in order to improve the white color of the translocated Anchos, he cultivated a few rows of white Chalqueño between them and then selected the hybrid ears he liked best. Chalqueño maize should have many (14-16) straight rows and a thin axis or cob. The kernels should be large, of the desired pure color

and without deformations or damage. Seed ears were degrained by hand, and farmers used only the kernels from the central third of the ear as seed material.

However, kernel characteristics were not the only selection criterion, as maize had several other uses in the region. Husk leaf quality was relevant. So, ears of both Chalqueño and translocated Anchos were also selected for long flexible husk leaves. Up to our interviews, translocated Ancho was rarely used for this purpose (and never commercialized) as it had dry rigid husks that required too much lard to make them soft enough (Morelos Ancho was used for this purpose, perhaps because of a lack of alternatives).

Planting and management of seed material

Traditionally, in the highland area the maize planting date was determined by lunar phases. Preferably, maize should be planted in the five days after the full moon (which may be the full moon of April or May, depending on the cultigen); according to the farmers, this prevented worm damage. It should never be planted during new moon. However, at the time of the study, farmers often farmed only part time, and they had to adjust their planting times to other considerations, some were simply no longer interested, and so the use of lunar phases was declining. They did, however, consider temperature: cold fields were planted from April onwards, and the warmer ones from May. As mentioned above, no distinction was made between translocated Ancho and Chalqueño maize for planting date, but Cónico maize was planted about one month later.

Planting depth was also similar between Chalqueños, Valles Altos de Ocho Hileras and traslocated Anchos, at 10-15 cm (Online Resource 1: Table 5; Figure 2.4). The depth of residual moisture determined final seed depth, which could vary depending on the soil and the year. Farmers explored it in the field and calibrated the handseeding (with a *coa* - planting stick - or a spade) or machine accordingly. Handplanting was preferred for local maize types, as their seeds were larger than the hybrids, and tended to break in the machinery. The number of seeds planted

was also similar, 2-3 seeds for each planting hole. The distance between rows was 85-100 cm and between planting holes 50-90 cm. There was no reseeded of non-germinated maize, as this was a rare event; generally, germination and emergence were good, including that of the translocated Ancho. Hybrids would sometimes have emergence problems during spells of drought (15-20 days) after the start of the rainy season (15-20 days). If the hybrid did not emerge, farmers would reseed with a forage plant such as vetch (*Vicia sativa*) (Online Resource 1: Table 6).

In contrast, in Morelos lunar phases played no role; the first rains, usually between June 15 and 25, determined the planting date. If the farmer was not able to plant in this time, for whatever reason, he left the field fallow or planted a different crop. No planting stick was used here; the seeds were dropped on the ground into the furrow and covered with the foot and were thus planted at a depth of only about 3 cm.

Farmers did not report germination problems in either system. They attributed this fact to good seed selection.



Figure 2.4 The photo on the left shows planting in systems with residual moisture, where seeds are sowed deep with the help of a planting stick (*coa*); on the right planting of Ancho maize is illustrated, where the seeds are dropped and covered with the foot for much shallower planting. Photos: Ortega-Paczka and Aguilar-Juárez

Storage management was also different between the highland and Morelos. In the highland the majority of the interviewed farmers tried to harvest during a full moon (again, some could not or would not follow this tradition). Some farmers reported that they observed more weevil damage when they did not use the correct timing.

After cutting, both the native and the introduced plants were gathered in sheafs (*mogotes*) and dried in the field (see above). Unfortunately, this practice also made stealing the harvest easier, a serious problem in recent years, particularly in the lower-lying areas nearer to urban populations. In Morelos, farmers did not consider it necessary to sheaf their harvest. The maize dried on the plant.

There were also differences between the areas in seed drying methods. In the highland, the ears with or without their husks were transferred to the homes, where they were stored in a storeroom within the house or *tzencaltles* (elevated wooden structures made specifically for maize storage). Maize straw was baled in the fields by machines. Sometimes the husks were used as payment for harvesting the ears (Online Resource 1: Table 7). The seeds selected for planting were kept in barrels or bags from February to May. There was some weevil damage, but farmers did not consider this a problem; sometimes they used aluminum phosphate to eliminate them.

In Morelos, the ears were harvested in the field and transported to the houses. The seed material was kept in bags from December to June. Weevils were a problem here, and the seeds were therefore treated with methyl bromide or aluminum phosphate.

Farmer experiments and the perception of average temperature increase

In principle, farmers did not consider the specific microclimate when planting Ancho maize. The factor they considered most were the maize cultigen rotations on their fields. They had observed that yield would decrease if they did not follow this practice.

However, they had also observed an increase in average temperatures in the previous 20 years. To illustrate this temperature increase, two farmers said that a fruit tree, a wild cherry (*capulín*), *Prunus serotina* subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh, had been displaced towards higher altitudes. Two decades earlier, this tree had

been abundant, and its fruit widely collected and sold on local markets. Now, farmers at higher altitudes collected the fruit commercially. Thus, price was only one of the reasons for Ancho introduction; the other quite important one was that farmers wished to adapt to the lower yields and other problems of Chalqueño in the transition zone (2000-2300).

As mentioned above, at the lowest sites (2000 to 2300 m), Chalqueño yields had decreased considerably. Somewhat higher, around 2500 m, the Chalqueño maize plants frequently developed the above mentioned *muñeco* syndrome. In response, for the previous ten years farmers had planted more Ancho and hybrid cultivars at lower altitudes, particularly on the southern slope of the Popocatepetl volcano. - One farmer experimented with planting dates, and found that planting Chalqueño somewhat later (May 1 instead of April 15) would reduce the *muñeco* problem.

2.5 DISCUSSION

Management and agricultural cycle

The translocated Anchos were generally managed in the same way as the local cultigens. They were planted, attended and harvested at the same time. Practices depended more on the environmental conditions (i.e. residual soil moisture) and the economic situation of the farmer than on the variety. The cycle of the translocated Anchos had extended from 5.5 months in its region of origin to 6.5 to 7 months in the transition zone (2300 m) in the State of Mexico and to 8.5 months in the highest region (2500 m).

These reactions of Ancho maize may be attributed to the plant and the ecological and agronomic knowledge of the farmers (Hernández 1985; Bellon 1991). Plants often respond to lower average temperatures by lengthening the growth period (Pescina *et al.* 2009). It is likely that the tropical Ancho maize needs a longer time

to accumulate the heat units it requires in the highland. However, this has not yet been confirmed.

While farmers know that Ancho maize originated in warmer climates, their residual moisture system obliges them to treat the translocated maize in the same way as the local maize. They try to help the introduced maize adapt through crossing/introgression, but not by modifying their system. This contrasts with findings from other regions and systems (Bellon 1991)

Seed selection for planting

We found fundamental differences in seed selection objectives in the two studied areas, due to ecology and uses. Farmer families in the highland selected for multiple objectives: large, healthy seeds, large flexible bracts (*totomoxtle*) for tamales, that do not absorb much of the lard or oil used for the stuffing, vigorous (but not lodging) plants for straw. The straw should be palatable for domestic animals, and the dried silk had medicinal uses. The planting system automatically selected for seedling vigor. However, they did not have many phytosanitary problems, except for *Fusarium* ear rot (Zambrano 2013). In contrast, pests and diseases were important in Morelos due to heat and humidity, and this, together with large healthy seeds, were the main selection criteria here. Morelos farmers also used much more pesticides for this reason (which reduced earnings; Argote 1988).

The production of multiple useful and salable products (as observed by Hellin *et al.* 2013) by the local landraces was probably one of the reasons for their continued popularity. Therefore, farmers also used multiple criteria for seed selection of the introduced maize; they were interested in improving the capacity of the translocated maize to produce these secondary products. Farmers' wives, commonly involved in seed selection, added criteria related to the culinary preferences of the family (Ortega 2003; Mendoza *et al.* 2004).

There were similarities and differences in seed selection between systems. Most selection was done at home on harvested ears (SEP 1982; Herrera *et al.* 2002). This practice did not allow direct selection of vegetative and agronomic characters that are important for improving productivity (González-Hernández and Carballo-Carballo 1979; Louette and Smale 2000). Several highland farmers had adopted suggestions by scientists active in the region to select promising plants in the field. The interviewed Morelos farmers did not do this.

The use of lunar phases for determining planting and harvesting dates are common in other parts of the world (Thrupp 1989). In Mexico, this practice has prehispanic roots; Mariaca (2003) reports it from wide swaths of the southeastern part of the country. We do not know of any published results to confirm or refute these beliefs, though there are some unpublished undergraduate thesis (e. g. Anguiano 1992). Storing seeds in plastic barrels, fumigation and using sealed containers is common in Mexico (for example, for Jala maize), and has been reported for other residual moisture systems (Aguilar 2006, Montes-H. 2014).

Planting and management of seed material

Translocated maize types were planted early and at the same depth as local maize, because of the need to take advantage of the residual moisture for germination. Planting depths up to 25 cm have been described for some residual moisture systems in the high valleys of Mexico (Eagles and Lothrop 1994; Castro *et al.* 1997; Esquivel *et al.* 2009), but this was not the rule in our study area. Sheafing is a common in the highlands. This practice speeds up drying, protects the plants from early frost, conserves the leaves and bracts for straw and clears the field (Ramírez 2007; Muñoz-Tlahuiz 2011; Robles 2012; Ortega 2014).

Two structures of the seedling may be involved in the necessary elongation of the shoot under these circumstances: the mesocotyl (the part of the shoot between the cotyledon, in practice the seed) and the coleoptile (the part of the shoot between the mesocotyl and the first normal leaf, which forms a protective sheaf and is

associated with good emergence) (Turner *et al.* 1982). Chalqueño maize populations are known for their vigorous seedlings (Vargas 1966; González 1971; Pérez *et al.* 2007); this is mainly due to elongation of the mesocotyl. In separate experiments (data not shown here) we found that Ancho maize that is planted at 3-10 cm depth in their area of origin adapted mainly by elongating the coleoptile, but the Anchos from the highest elevations also showed elongation of the mesocotyl.

Farmer experiments and the perception of average temperature increase

Our results show that, generally, the translocated maize had to adapt to the local agricultural system. It was planted, managed and harvested in a way similar to the local populations, which was quite different from the management in its original sites. Farmers indirectly influenced adaptation by promoting hybridization of the local maize with the introduced one (Rieseberg and Wendel 1993; Louette and Smale 2000; Ortega 2003). Cultigen rotation, important in our study area, has been observed previously in Jalisco (Louette and Smale 2000). However, apparently there is still no experimental confirmation of its advantages.

The causes of the adoption of the translocated maize were not just economic. The economic advantage was not as high as the differences in grain prices indicated because of the secondary uses of the local Chalqueño maize. While we did not quantify these factors, they played a prominent role in the decisions of the farmers and were frequently mentioned. Secondary uses are often neglected in the calculation of agricultural yield, crop improvement and economic analysis, and lead to inappropriate crop improvement and faulty extension advice (Guadarrama *et al.* 1981; González-Amaro *et al.* 2009).

We found another reason for the decision to plant Ancho: the perceived change in local climate, which made the local maize less competitive at lower elevations. Ancho maize thus served as an adaptation strategy, as predicted by Ortega (1973), Ortega (1999), Mercer *et al.* (2008) and Mercer and Perales (2010), who described

an asymmetrical substitution of landraces along an altitudinal gradient. Related are findings by Montes (2014), who showed that the reduction in the cultivation of Jala maize, a very distinctive, long-cycle race with very long ears from Jalisco, was caused by a reduction of residual soil moisture.

Our results confirm the observations in our study area by Perales *et al.* (2003a) and Perales and Hernández (2005), that maize cultigen substitutions are most dynamic at elevations between 1200 m and 1900 m; here cultigens and cultivars change and are displaced relatively frequently. The farmers above 2000 m tend to conserve their populations and to adapt them by hybridization/introgression with introduced germplasm. This is probably due both to the specialized physiological and morphological adaptations of the highland maize populations, and to the important role of multiple uses in these regions. Our study also confirms the suggestion by Mercer and Perales (2010) that introgression of genes from medium-elevation maize into highland cultigens may help the latter survive.

Ear fasciculation, a well-known phenomenon in maize breeding (Nielsen 2014), is usually not caused by direct external influences, such as a disease, but by a malalignment or breakdown of apical dominance, which is controlled by plant hormones. Environmental stress, particularly high temperatures or drought, can modify the regulator equilibrium, allowing the internodes of the shank to grow too long and develop a (sterile) ear (Elmore and Abendroth 2006). The syndrome can be controlled to an extent by cultural practices, such as appropriate fertilization or density (or the later planting date found empirically by one of the interviewed farmers), but often a change of cultivar is necessary (Ciampitti 2014).

This study shows that farmers adapt to changing climate; however, they need access to the necessary resources. In Mexico, with its mountainous terrain and altitudinal variation in landrace cultigens, useful genetic material is often easily available (Mercer and Perales 2010). However, it is necessary to maintain this diversity in order to allow local adaptation.

2.6 CONCLUSIONS

Mainly, the translocated maize had to adapt to the local agroecosystem. It was not planted in warmer microclimates to help it adjust, but farmers assisted adaptation through hybridization with the local populations. While the reason for its adoption by farmers was partly economic, it was also due to a perception of an increase in average temperatures and the susceptibility of local populations to decreases in yields and a malformation (multiple ears) associated with high temperatures and water stress. Thus, they were not only adapting the economically attractive Ancho maize to their system, but also adapting their system to changes in the environment.

2.7 ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the farmer families in the southeastern State of Mexico (Ixtapaluca, Chalco, Amecameca, Juchitepec, Tepetlixpa) and Morelos (Santa Catarina, Tepoztlán) for their time, help, willingness to share information and friendship during field work. The field work was supported mainly by two projects: “Conservación y mejoramiento participativo de maíces criollos en el Oriente del Estado de México”, financed by the General Directory of Investigation and Postgraduate Studies of the Autonomous University Chapingo, and “Manejo integral del agroecosistema en el Estado de México”, financed by the National System of Phylogenetic Resources for Food and Agriculture (SINAREFI for its Spanish-language abbreviation), under the umbrella of the Secretary of Agriculture. The first author had a study grant from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) for two years.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The authors declare that they have no conflict of interest.

2.8 REFERENCES

- Aguilar-C. JA (2006) Recuperación, conservación y aprovechamiento de la raza Jala de maíz: Una alternativa para las razas en peligro de extinción. Doctoral dissertation, Colegio de Postgraduados
- Aguilar-J. JA, González-R. JJ (2012) Diversidad de maíces criollos y determinación de sus custodios en el sureste del Estado de México. Undergraduate thesis, Departamento de Agroecología, Universidad Autónoma Chapingo
- Anderson E, Cutler HC (1942) Races of *Zea mays* I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29:69–88
- Anguiano-Jiménez JM (1992) Evaluación experimental y registro del conocimiento empírico sobre la influencia de las fases lunares en maíz (*Zea mays* L.). Undergraduate thesis, Universidad Autónoma Chapingo
- Argote-C. J (1988) Plagas de mayor incidencia en el cultivo del maíz en Bolivia. In: Puignau JP (ed) *Diálogos XXV: Control de Plagas en Maíz y Sorgo*. Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur, Montevideo, Uruguay, pp 11–16
- Bellon MR (1991) The ethnoecology of maize variety management: A case study from Mexico. *Human Ecology* 19:389–418. doi: 10.1007/BF00888984
- Bellon MR, Hellin J (2011) Planting hybrids, keeping landraces: agricultural modernization and tradition among small-scale maize farmers in Chiapas, Mexico. *World Development* 39:1434–1443. doi: 10.1016/j.worlddev.2010.12.010

- Bellon MR, Hodson D, Hellin J (2011) Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *PNAS* 108:13432–13437. doi: 10.1073/pnas.1103373108
- Benz BF (1986) Taxonomy and evolution of Mexican maize. Doctoral dissertation, University of Wisconsin
- Castro V, Daynard TB, Thurtell GW (1997) Studies on the root water relations of an unusual Mexican maize and typical corn belt hybrid. In: Edmenades GO, Banzinger M, Mickelson HR, Peña-Valdivia CB (eds) Developing draught and low N-tolerant maize. CIMMYT, El Batan, Mexico, pp 192–199
- Ciampitti I (2014) Abnormal corn ears. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan, KA
- CONABIO (2010) Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf.
- CONABIO (2011) Base de datos del proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México.” Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Eagles HA, Lothrop JE (1994) Highland maize from central Mexico—its origin, characteristics, and use in breeding programs. *Crop Science* 34:11–19. doi: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400010002x
- Elmore RW, Abendroth LJ (2006) Multiple ears per node: Iowa 2006 situation & hypothesis : Corn Production. In: Multiple ears per node: Iowa 2006 situation & hypothesis. <http://www.agronext.iastate.edu/corn/production/management/hybrid/multiple.html>. Accessed 4 Jan 2016

- Esquivel-Esquivel G, Castillo-González F, Hernández Casillas JM, *et al* (2009) Aptitud combinatoria y heterosis en etapas tempranas del desarrollo del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:311–318
- García E (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Larios, México, D. F.
- Gómez-M. NO, Cantú-A. MA, Hernández-G. CÁ, *et al* (2013) V-237 AN: Primera variedad mejorada de maíz del tipo Ancho (pozolero) en México. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Iguala, Iguala, Guerrero, Mexico
- González-Amaro RM, Martínez-Bernal A, Basurto-Peña F, Vibrans H (2009) Crop and non-crop productivity in a traditional maize agroecosystem of the highland of Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 5:38. doi: 10.1186/1746-4269-5-38
- González-E. A (1971) Estudio del mesocótilo como característica en la clasificación biosistemática de maíz. Undergraduate thesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
- González-Hernández V, Carballo-Carballo A (1979) Maíz en el Valle de México y la región de Tlalmanalco, Amecameca y Juchitepec. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas, Chapingo, Texcoco, México
- Guadarrama C, Hernández-Xolocotzi E (1981) Valor de uso y relaciones económicas en la agricultura tradicional de Nauzontla Puebla. *Revista Geografía Agrícola* 1:73–80
- Hellin J, Keleman A, López D, *et al* (2013) La importancia de los nichos de mercado. Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:315–328
- Hernández-Xolocotzi (1985) *Biología agrícola: los conocimientos biológicos y su aplicación a la agricultura*. Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología/CECSA/Editorial Patria, México, D.F.

- Hernández-Xolocotzi E, Alanís-F. G (1970) Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3–30
- Herrera-Cabrera BE, Macía-López A, Díaz-Ruíz R, *et al* (2002) Usos de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semillas de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:17–23
- INEGI (2005) Uso del suelo y vegetación. Periodo de observación de 2002 a 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags.
- INEGI (2010) Censo de Población y Vivienda 2010. In: INEGI. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?> Accessed 4 Jan 2016
- Kato-Yamakake TÁ (1967) Informe general sobre las nuevas colecciones de maíz en México. Unpublished manuscript
- Kato-Yamakake TÁ, Mapes-Sánchez C, Mera-Ovando LM, *et al* (2009) Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Kato-Yamakake TÁ, McClintock B (1981) Constitución cromosómica de las razas de maíz en Norte y Centroamérica. In: McClintock B, Kato-Yamakake TÁ, Blumenschein A (eds) Constitución cromosómica de las razas de maíz. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México, pp 9–124
- Louette D, Charrier A, Berthaud J (1997) In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20–38. doi: 10.1007/BF02910401
- Louette D, Smale M (2000) Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. *Euphytica* 113:25–41. doi: 10.1023/A:1003941615886
- Mariaca-Méndez (2003) Prácticas, decisiones y creencias agrícolas mágico-religiosas presentes en el Sureste de México. *Etnobiología* 3:66–78

- Mendoza-González J, Aguirre-Gómez JA, Manuel-Rosas I, *et al* (2004) Participación de la mujer campesina en la selección de semilla de maíz en seis comunidades de los valles centrales de Oaxaca. In: Chávez-Servia JL, Tuxill J, Jarvis DI (eds) Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. International Plant Genetic Resources Institute, IPRGI, Rome
- Mercer KL, Perales HR (2010) Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity: Climate change and crop diversity. *Evolutionary Applications* 3:480–493. doi: 10.1111/j.1752-4571.2010.00137.x
- Mercer K, Martínez-Vásquez Á, Perales HR (2008) Asymmetrical local adaptation of maize landraces along an altitudinal gradient. *Evolutionary Applications* 1:489–500. doi: 10.1111/j.1752-4571.2008.00038.x
- Montes-H. LA (2014) Aspectos tradicionales y genéticos asociados al maíz raza Jala. Doctoral dissertation, Colegio de Postgraduados
- Muñoz-Orozco A (2005) Centli-maíz: prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz., 2nd edn. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México
- Muñoz-Tlahuiz F (2011) Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México. M. Sc. thesis, Colegio de Postgraduados
- Nielsen RL (2014) Multiple ears of corn on the same shank. *Corny News Network*, Purdue University. <http://www.kingcorn.org/news/timeless/MessyEars.html>
- Ortega-Olivares M (2014) Los abuelitos campesinos de Zapotitlán. *E-Bios Universidad Autónoma Metropolitana* 2:94–102
- Ortega-Paczka R (1973) Variación en maíz y cambios socio-económicos en Chiapas, México 1946-1971. M. Sc. thesis, Colegio de Postgraduados
- Ortega-Paczka R (1999) Genetic erosion in Mexico. *Proceedings of the Technological Meeting of the FAO World Information and Early Warning*

- System on Plant Genetic Resources. Research Institute of Crop Production, Prague
- Ortega-Paczka R (2003) La diversidad de maíz en México. In: Esteva C, Mareille C (eds) Sin maíz no hay país. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México, D. F., pp 123–154
- Pecina-Martínez JA, Mendoza-Castillo M, López-Santillán A, *et al* (2011) Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:85–92
- Perales-R. H, Brush SB, Qualset CO (2003a) Dynamic management of maize landraces in Central Mexico. *Economic Botany* 57:21–34. doi: 10.1663/0013-0001(2003)057[0021:DMOMLI]2.0.CO;2
- Perales R. H, Brush SB, Qualset CO (2003b) Landraces of maize in central Mexico: An altitudinal transect. *Economic Botany* 57:7–20. doi: 10.1663/0013-0001(2003)057[0007:LOMICM]2.0.CO;2
- Perales-R. H, Hernández-Casillas JM (2005) Diversidad de maíz en Chiapas. In: González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Ruiz-Montoya L (eds) Diversidad biológica en Chiapas. Plaza y Valdés, México, D.F., pp 419–440
- Pérez de la Cerda F de J, Córdova Téllez L, Varela AS, *et al* (2007) Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. *Agricultura Técnica en México* 33:5–16
- Ramírez AM (2007) El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal. Doctoral dissertation, Colegio de Postgraduados
- Rice E (2007) Conservation in a changing world: in situ conservation of the giant maize of Jala. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54:701–713. doi: 10.1007/s10722-006-0023-3
- Rieseberg LH, Wendel JF (1993) Introgression and its consequences in plants. In: Harrison RG (ed) Hybrid zones and the evolutionary process. Oxford University Press, New York, NY, pp 70–110

- Robles-V A (2012) Participación de niños indígenas mazahuas en la organización familiar del trabajo. Papeles de Trabajo sobre Cultura, Educación y Desarrollo Humano 8:1–11
- Ron-Parra J, Sánchez-González JJ, Jiménez-Cordero AA, *et al* (2006) Maíces nativos del occidente de México I. Colectas 2004. Scientia-CUCBA 8:1–139
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2008) Anuario de la producción agrícola. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por--cultivo/>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2010) Anuario de la producción agrícola. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por--cultivo/>
- Sanchez-G. JJ, Goodman MM, Stuber CW (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43–59. doi: 10.1007/BF02866599
- Sánchez-González JJ (1989) Relationships among the Mexican races of maize. Doctoral dissertation, North Carolina State University, Department of Crop Science
- Sánchez-Gonzalez JJ (2011) Diversidad del maíz y el teocintle. Informe preparado para el proyecto: “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México ” http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo9_Analisis_Especialistas/Jesus_Sanchez_2011.pdf
- SEP (Secretaría de Educación Pública) (1982) Nuestro maíz-treinta monografías populares. Consejo Nacional de Fomento Educativo, Secretaría de Educación Pública, México, D.F.
- Thrupp LA (1989) Legitimizing local knowledge: From displacement to empowerment for third world people. *Agriculture and Human Values* 6:13–24. doi: 10.1007/BF02217665

- Turner FT, Chen CC, Bollich CN (1982) Coleoptile and mesocotyl lengths in semidwarf rice seedlings. *Crop Science* 22:43–46. doi: 10.2135/cropsci1982.0011183X002200010010x
- Ureta C, Martínez-Meyer E, Perales HR, Álvarez-Buylla ER (2012) Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology* 18:1073–1082. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02607.x
- Vargas-G. M (1966) Influencia de la longitud del mesocótilo-coleóptilo en la emergencia de plántulas de maíz. M. Sc. thesis, Colegio de Postgraduados
- Vavilov NI (1931) Mexico and Central America as the principal centre of cultivated plants of the New World. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding* 216:135–199
- Wellhausen EJ, Roberts LM, Hernández-Xolocotzi E., Mangelsdorf PA (1951) Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F.
- Zambrano-Z. EE (2013) Valoración del mejoramiento genético participativo *in situ* en poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) criollo en el sureste del Estado de México. M. Sc. thesis, Colegio de Postgraduados

Capítulo 3. Adaptación morfológica de plántulas de maíz Ancho traslocado al agroecosistema de humedad residual

RESUMEN

La distribución de maíz Ancho se ha ampliado hacia regiones más templadas del Estado de México (2400 m) debido a su mejor precio por su uso para pozole. Se localiza originalmente en la cuenca del río Balsas (entre los 1000 a 1700 m). En el Estado de México se cultiva bajo el sistema de humedad residual, donde se siembra a una profundidad de 10-15 cm. Para lograr la emergencia en este sistema, las poblaciones locales han desarrollado mesocótilo más largos como carácter de adaptación. El objetivo de esta investigación es comparar la variación en la longitud del mesocótilo-coleóptilo, en plántulas de maíz Ancho de poblaciones originales del estado de Morelos y de traslocados (maíces Anchos que se cultivan en el Estado de México), con varios cultivares locales, bajo diferentes temperaturas y profundidades de suelo en condiciones controladas. Se desarrollaron dos experimentos: siembras a 20 cm de profundidad en camas de arena, y siembras a 5, 15 y 20 cm de profundidad en combinación con dos periodos de temperaturas 15 y 21°C en rizotrones colocados en cámaras de ambiente controlado. Se documentó la variación de la longitud del mesocótilo y coleóptilo. Se mostró que las plántulas del maíz Ancho traslocado adaptan su estructura morfológica mediante la elongación del coleóptilo como respuesta inmediata a la siembra profunda. La elongación observada del coleóptilo es promovida por la baja temperatura (15°C). Las poblaciones con más tiempo de cultivo en la región, también tienen mesocótilos más largos como adaptación al agroecosistema de humedad residual.

Palabras claves: Maíz Ancho, vigor, profundidad, temperatura, mesocótilo, coleóptilo.

3.1 INTRODUCCIÓN

Las poblaciones de maíz Ancho se encuentran localizadas principalmente en la cuenca del río Balsas. Se supone que la mayor diversidad de estos maíces se encuentra en el estado de Guerrero, debido a su uso para pozole en la región (CONABIO 2011), pero en general, esta raza todavía no está bien estudiada. También se encuentran poblaciones de maíz Ancho en agroecosistemas de los estados de Morelos, Puebla, Michoacán y Jalisco en altitudes que van de 800 m a 1800 m (Sánchez *et al.* 2000). Se considera un maíz de regiones tropicales a semi tropicales.

La distribución de maíz Ancho se ha ampliado hacia regiones más templadas del Estado de México con altitudes de los 2000 m a los 2400 m. En esta región se tiene que adaptar a temperaturas promedio anuales de 18 °C a 12 °C con precipitaciones que oscilan de los 600 mm a los 1200 mm, y suelos de tipo regosol y andosol con textura media y pendientes suaves (Aguilar y González 2012).

El maíz Ancho, al desplazarse hacia los Valles Altos y específicamente hacia el sureste del Estado de México, además del cambio de las condiciones ecológicas, se enfrenta a un cambio de agroecosistema. En esta nueva región se cultiva el maíz bajo el sistema de arroje o conservación de humedad residual. Los suelos profundos y finos de la región (regosoles y andosoles) guardan la humedad de la estación de lluvias invernales, hasta la siguiente primavera, a una profundidad de 10-15 cm. Esta humedad residual permite una siembra antes del inicio de lluvias en la región, lo cual aumenta las horas luz del cultivo y con esto el rendimiento, pero se siembra a una profundidad mayor que la normal, para que la semilla pueda alcanzar la humedad necesaria para la germinación. Eagles y Laothrop (1994) indican que la profundidad de siembra puede alcanzar los 25 cm o más. Después de la siembra se da un paso de viga para sellar los poros y evitar la evaporación de la humedad.

En este sistema de siembra se requieren semillas muy vigorosas (González 1971; Vargas 1966). Esto se ha conseguido a través de la selección en las poblaciones locales nativas de maíz por los agricultores de la raza Chalqueño. Efectivamente, el vigor de las semillas de esta región está más acentuado con respecto a las semillas de otras regiones, debido a su capacidad para elongar el mesocótilo. En poblaciones de maíz Chalqueño existe una fuerte relación entre variables como la longitud y peso seco de mesocótilo con índices de vigor inicial y calidad fisiológica de la semilla, que a su vez se refleja en un mejor rendimiento de grano (Pérez de la Cerda *et al.* 2007).

En este trabajo se pretende contestar la pregunta: ¿Las poblaciones de maíz Ancho traslocado presentan elongación del mesocótilo como adaptación? Para contestar esta pregunta, averiguamos si los maíces Anchos traslocados desarrollan mesocótilos más largos en el ámbito del sistema de humedad residual que en su área de origen, y si tienen una proporción menor de emergencia a 20 cm de profundidad que las poblaciones locales. Entonces el objetivo de esta investigación es comparar la variación en la longitud del mesocótilo-coleóptilo, en plántulas de maíz Ancho de poblaciones originales de Morelos y de traslocados, con varios cultivares locales, bajo diferentes temperaturas y profundidad de suelo en condiciones controladas. Los maíces Anchos de Morelos se denominan Anchos de Morelos en este trabajo, y los que se están cultivando en el sureste del Estado de México a altitudes mayores, Anchos traslocados.

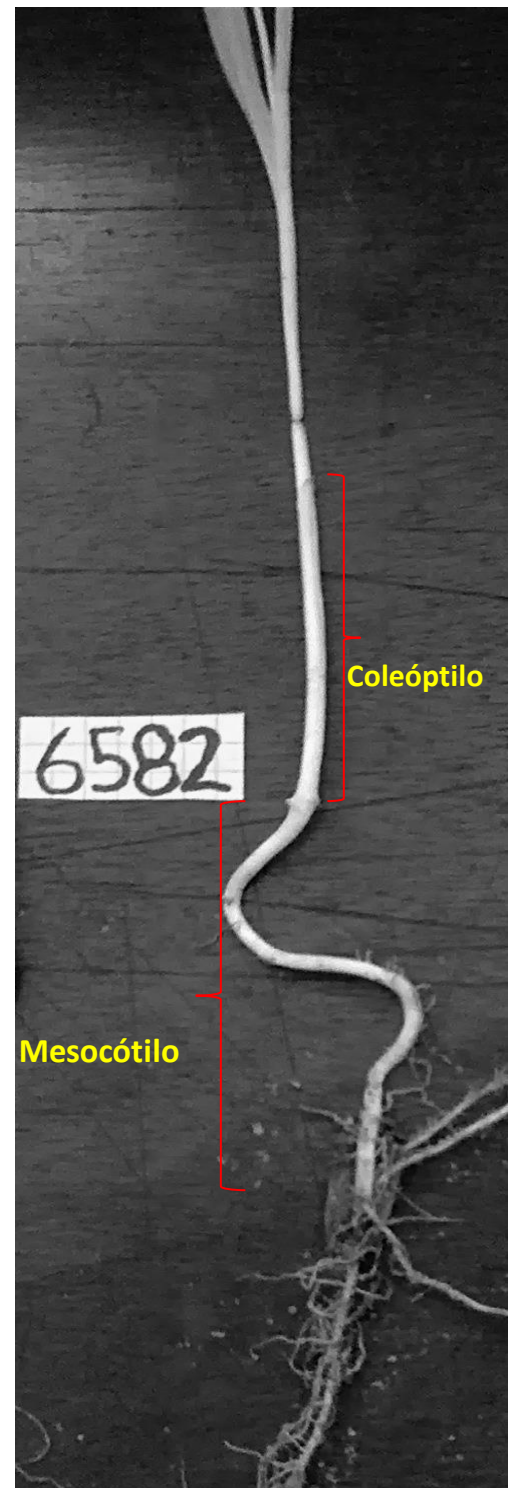
A continuación se revisan algunos conceptos relacionados con la germinación, el vigor y la emergencia del maíz que son relevantes para el trabajo.

Morfología de la plántula de maíz

Cuando inicia la germinación, el primer órgano en salir de la semilla es la radícula o raíz primaria, seguida por la plúmula cubierta por el coleóptilo (vainas u hoja modificada que se deriva del embrión, cubre a la plúmula para protegerla del daño físico durante la emergencia). El coleóptilo es empujado hacia arriba por la elongación del mesocótilo (estructura tubular de color blanco situado como el primer entrenudo de la plántula de maíz, que conecta la semilla con la plúmula envuelta por el coleóptilo: Figura 3.1). (Ritchie y Hanway 1992; Font Quer 1982; Onderdonk y Ketcheson 1972; Collins 1914).

El mesocótilo tiene una gran plasticidad en su tasa de crecimiento y la longitud, y depende, entre otros factores, de la profundidad de siembra. Tiene características de transición entre tallo y raíz, es decir presenta endodermis, periciclo, arreglo cilíndrico y bilateral de los haces vasculares, así como haces de metaxilema, que se extienden a través del mesocótilo (Tucker 1957).

Figura 3.1 Plántula de maíz Chalqueño mostrando el coleóptilo y mesocótilo



Tan pronto como una porción de la plúmula o el coleóptilo emerge del suelo o queda expuesto a la luz (aún bajo la superficie del suelo), se suscita un cambio

drástico en la morfología de la plántula. Se detiene la elongación del mesocótilo y empiezan a aparecer las primeras hojas por el ápice de la plúmula, las cuales continuarán con el crecimiento del brote. Parte de la plántula se mantiene hipógea (subterráneo): el sistema radical, el cotiledón y una sección del tallo incluyendo el mesocótilo (Gola y Cappeletti 1965; Blacklow 1972; Strassburger 1994; Rost *et al.* 1998).

Estudios acerca del crecimiento del mesocótilo de maíz

La información en la literatura sobre el crecimiento del mesocótilo trata tres temas principalmente: 1) la importancia del mesocótilo como carácter taxonómico; 2) la importancia como estructura de adaptación a condiciones de sequía y sistemas de humedad residual y 3) el control fisiológico de las expresiones de la variación. Este trabajo se inserta en el tema 2.

Los datos en la literatura que utilizan el mesocótilo como carácter diferencial en la clasificación sistemática de razas de maíz son escasos. Vargas (1966) y González (1971) propusieron que la longitud del mesocótilo era un carácter importante para diferenciar poblaciones de maíces mexicanos. Sin embargo consideraron que había ciertas restricciones debido al hecho que el mesocótilo también reacciona a la variación ambiental y la variación genética dentro de las razas (la longitud mesocotilar registrada sería la media de al menos 10 individuos y entre tales longitudes debe haber una diferencia mínima de 4 cm entre las razas propuestas).

En la actualidad la clasificación infraespecífica del maíz se basa principalmente en la evaluación de características morfológicas de la planta y la mazorca, estudios fisiológicos, citológicos, genéticos, isoenzimáticos y ecológicos (Anderson y Cutler 1942; Hernández y Alanís 1970; Goodman y Bird 1977; Sánchez *et al.* 2000; Ruíz *et al.* 2008).

El mesocótilo juega un papel destacado en la de adaptación a la sequia y sistemas de humedad residual. Collins (1914) reporta que el maíz Hopi desarrolló mesocótilos más largos con respecto a otras poblaciones, como carácter

adaptativo a condiciones de sequia, donde se siembra a profundidades de 30 cm o más. Montes (2014) evaluó poblaciones de maíz de la raza Jala. También se siembran profundamente en suelos de humedad residual; las siembras se han vuelto más profundas - hasta 20 cm - debido a una percepción de pérdida de humedad en los suelos, atribuido al cambio climático.

En los estudios de fitohormonas, el mesocótilo, por ser un órgano sensible, es el objeto de estudio para determinar los efectos fisiológicos de estos reguladores de crecimiento. Mucha de la investigación acerca del mecanismo de alargamiento de órganos se ha centrado en el papel de las fitohormonas. El grupo de fitohormonas más asociado con la elongación de las estructuras vegetales son las auxinas; especialmente los coleóptilos y mesocótilos del maíz son un modelo ampliamente estudiado (Cleland 2010).

Existen otras fitohormonas y sustancias que inciden sobre el proceso de elongación. Zhao y Wang (2008) reportan que niveles exógenos de giberelinas promueven el alargamiento del mesocótilo de genotipos de maíz a través de la elongación celular, además observan que bajo condición de siembra profunda el contenido endógeno de giberelinas aumentan. En sorgo Maiti (1986) encontró que mesocótilos largos producen menores cantidades de etileno, pero incrementan la síntesis de giberelinas.

La calidad de la semilla y vigor de la semilla

La calidad de la semilla de maíz, como de otros cultivos, es un factor básico en la agricultura para obtener mejores rendimientos y una mayor eficiencia productiva. La semilla de alta calidad es apta para emerger en forma rápida y uniforme en una amplia variedad de condiciones ambientales (Andrade 1992). La calidad de la semilla depende de varios componentes relacionados a su calidad genética, calidad física, calidad sanitaria y calidad fisiológica.

- La calidad física de las semillas se determina midiendo el contenido de humedad, el peso por volumen, el tamaño de la semilla, peso de 1000

semillas, color y el daño por hongos e insectos (McDonald 1998).

- La calidad sanitaria implica incorporar características de resistencia y tolerancia a enfermedades.
- La calidad fisiológica se refiere a las características de viabilidad de una semilla, a la alta capacidad de germinación, el vigor para establecer nuevos individuos, y a la longevidad (Bustamante 1983).
- La calidad genética es la expresión uniforme de las características de la población y debe ser reproducible de una generación a otra.

Los fitomejoradores tratan de entender la herencia de los atributos que determinan la calidad, tales como la velocidad y el porcentaje de emergencia, la longitud de plúmula, el peso seco de la parte aérea, características de la raíz, la longitud del mesocótilo y la longitud de coleóptilo. En el caso del maíz, el mejoramiento de la calidad de la semilla, y más específicamente de su vigor, ha sido investigado ampliamente (Antuna *et al.* 2003). El vigor es la suma total de todas aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel potencial de actividad y rendimiento de la semilla durante la germinación y emergencia (Perry 1981).

La germinación es la reanudación del desarrollo y crecimiento del embrión que origina una nueva planta. Se considera que una semilla ha germinado cuando la radícula empieza hacerse visible, al emerger de la testa (criterio biológico o fisiológico). Existe también el criterio agronómico, en donde la proporción de germinación se determina con base en las semillas que dan origen a plántulas vigorosas (Moreno 1996).

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en dos fases. La primera consistió en evaluar caracteres de vigor de varias poblaciones de la región sureste del Estado de México, así como de maíces Anchos de Morelos y traslocados, en camas de arena. En la segunda fase se seleccionaron las poblaciones más contrastantes para compararlas bajo diferentes temperaturas y profundidad de siembra en condiciones controladas.

Características de las poblaciones de maíz a evaluar

Ancho: Se distribuye principalmente en la cuenca del río Balsas en los estados de Guerrero, Morelos, Puebla, Michoacán, Jalisco y el Estado de México en elevaciones que van de 800 a 1800 m (CONABIO 2011; Ron *et al.* 2006; Wellhausen *et al.* 1951). Se encuentra en climas cálido subhúmedo Awo (w) (e)g, semicálido subhúmedo (A) c (wo) (w) a (e)g y templado subhúmedo Cw2 (w)big, todos con lluvias en verano. La temperatura promedio anual en estas regiones está entre 18-26 °C y la precipitación entre 400-1200 mm (INEGI 2010). Se identifica por tener mazorcas semicilíndricas y flexibles, 8-12 hileras rectas, con granos muy grandes, anchos (entre 8.0 y 14.8 mm), menor grosor y generalmente dentados (Benz 1986). En su área de origen, este maíz se siembra a poca profundidad (3-4 cm) (Figura 3.2).

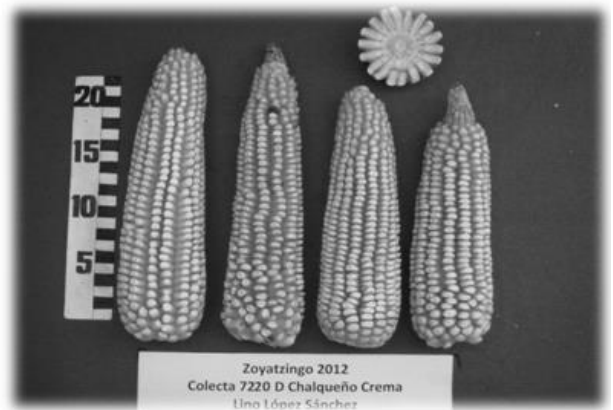
Valles Altos de Ocho Hileras: Se colectó esta población en 2009 como falso Ancho en Amecameca. En el 2012 se caracterizó y sugirió que se trataba de una población a nivel de raza, con características distintivas por mazorcas de ocho hileras, olote delgado (1.98 cm) y grano ancho-ovalado. Se siembra en altitudes de 2600 a 2700 m (Aguilar y González 2012).

Cónico: Esta raza probablemente resultó de la hibridación entre el Palomero Toluqueño y el Cacahuacintle. El Cónico es dominante en la Mesa Central a altitudes que varían de 2000 a 2800 m. Es una de las razas más precoces de esta región (Wellhausen *et al.* 1951).

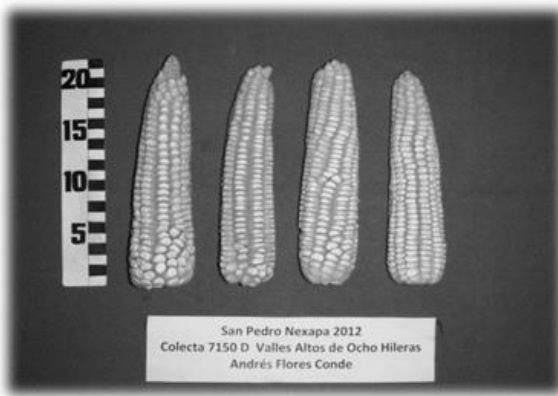
Chalqueño: Wellhausen *et al.* (1951) sugiere que se originó de la hibridación de los maíces Cónicos y Tuxpeños. Se distribuye por arriba de los 1800 m, en suelos con humedad residual de los Valles Altos y en algunas regiones de Durango, Zacatecas y el norte de Oaxaca (CONABIO 2010). Se caracteriza por tener mazorcas con gran número de hileras (14-22). Los granos pueden ser de color blanco, crema, azul y amarillo de textura semi-dentada a semi-harinosa.



Ancho



Chalqueño



Valles Altos



Cónico

Figura 3.2 Poblaciones de maíces locales de la región de estudio

Poblaciones a evaluar

El material vegetal que se evaluó en el experimento son colectas consideradas típicas de la región de estudio, proporcionadas por los agricultores que las producen y que colaboraron antes en proyectos de conservación de maíces nativos. El maíz Ancho fue representado con cinco muestras (dos de su área de origen, Morelos, y tres traslocados a diferentes altitudes), Chalqueño con cuatro, Valles Altos con una y Cónico con dos muestras, además se probó un material híbrido del Colegio de Postgraduados recomendados para la región de Valles, el HS-2 (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Información sobre las colectas utilizadas en los experimentos de maíces Anchos traslocados en el sureste del Estado de México

# de colecta	Raza	Color de grano	Localidad	Municipio	Estado	Altitud (m)	Latitud de colecta (casa del agricultor)	Longitud de colecta (casa del agricultor)	Agroecosistema de siembra	Años con la semilla en posesión del productor	Poblaciones evaluadas en rizotrones (segunda fase)
7305	Ancho	Crema	Santa Catarina	Tepoztlán	Morelos	1630	18°58'17"	99° 08'28"	Temporal	Mas de 50 años	
7295E	Ancho	Crema	Santa Catarina	Tepoztlán	Morelos	1630	18°58'17"	99° 08'28"	Temporal	Mas de 90 años	X
7273	Ancho	Crema	Tepetlixpa	Tepetlixpa	Estado de México	2319	19°01'41.48"	98°49'41.16"	Humedad residual	Mas de 25 años	
7154	Ancho	Crema	Cucucucuatitla	Tepetlixpa	Estado de México	2293	19°00'50"	98°50'46"	Humedad residual	Mas de 15 años	X
7199	Ancho	Crema	Cuijingo	Juchitepec	Estado de México	2500	19°05'11"	98°51'12"	Humedad residual	Mas de 10 años	X
7150	Valles Altos	Crema	San Pedro Nexapa	Amecameca	Estado de México	2672	19°04'53"	98°44'03"	Humedad residual	Mas de 80 años	
7220E	Chalqueño	Crema	Zoyatzingo	Amecameca	Estado de México	2473	19°05'18"	98°47'01"	Humedad residual	Mas de 60 años	
7202E	Chalqueño	Blanco	Juchitepec	Juchitepec	Estado de México	2524	19°05'59"	98°52'46"	Humedad residual	Mas de 20 años	
6582E	Chalqueño	Blanco	Cocotitlán	Cocotitlán	Estado de México	2240	19°13'00"	98°51'00"	Humedad residual	Mas de 70 años	X
7203E	Chalqueño	Azul	Juchitepec	Juchitepec	Estado de México	2524	19°05'59"	98°52'46"	Humedad residual	Mas de 20 años	
7183E	Cónico	Amarillo	Ixtapaluca	Ixtapaluca	Estado de México	2443	19°23'04"	98°50'40"	Temporal	Mas de 70 años	
7285E	Cónico	Blanco	San Francisco	Ixtapaluca	Estado de México	2303	19°20'02"	98°51'40"	Humedad residual	Mas de 50 años	X
HS-2	Híbrido de color crema recomendado para Valles Altos del Colegio de Postgraduados. Tipo de cruce triple. Germinación 85% mínimo. Producida en el Colegio de Postgraduados, Texcoco del ciclo primavera-verano 2012. Semilla certificada en febrero 2013 por el SNICS.										X

Condiciones de almacenamiento

Después de la cosecha en 2013, las muestras colectadas para los experimentos permanecieron almacenadas en costales de manta dentro de botes de fierro en un cuarto seco y fresco. Diariamente se registró la temperatura y humedad relativa, con un data logger HOBOWare Pro. Se registraron temperaturas mínimas de 21° C y máximas de 27°C y una humedad relativa que oscilaba entre los 40% y 47%. En dichas condiciones las colectas se fumigaron con pastillas de fosfuro de aluminio durante un mes para el control de gorgojos y palomillas.

Fase I.- Evaluación del vigor de semillas

Determinación de humedad de semilla

Antes de iniciar el experimento se midió la humedad en 250 gramos de las semillas colectadas de las 13 poblaciones de maíz con un determinador de humedad electrónico SEEDBURO 1200D (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Porcentaje de humedad de las poblaciones de maíz a evaluar

Número de colecta	Población	Porcentaje de humedad (%)
7199	Ancho	9.9
7154	Ancho	9.6
7273	Ancho	9.1
7305	Ancho	9.5
7295	Ancho	9.4
7150	Valles Altos	9.0
7202	Chalqueño blanco	9.5
7203	Chalqueño azul	9.6
7220	Chalqueño crema	10.2
6582	Chalqueño blanco	8.7
7285	Cónico	9.0
7183	Cónico	9.2
H-S2	Híbrido	9.1

Prueba de viabilidad

Las poblaciones de maíz a evaluar se sometieron a la prueba de viabilidad con cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio antes de establecer los experimentos; se trabajó con 20 semillas para cada población (Cuadro 3.3; favor de observar la baja viabilidad de la población HS-2).

Cuadro 3.3 Porcentaje de viabilidad de las poblaciones de maíz a evaluar

Número de colecta	Población	Porcentaje de viabilidad (%)
7285	Cónico	90
7150	Valles Altos	95
7202	Chalqueño blanco	95
HS-2	HS-2	70
7199	Ancho	100
7154	Ancho	95
7273	Ancho	95
7183	Cónico	100
7203	Chalqueño azul	100
7220	Chalqueño crema	95
7295	Ancho	100
7305	Ancho	100
6582	Chalqueño blanco	100

Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el periodo primavera-verano 2014 en las instalaciones del área de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, municipio de Texcoco en el Estado de México, ubicado en las coordenadas 19°30'N y 98°51'O y a una altitud de 2250 m. El clima de la región, según la clasificación de Koeppen modificada por García (1988), corresponde a un C (W₀) (w)b(i') g, templado subhúmedo con lluvias en verano. Es el subtipo más

seco de los C(w), con precipitación anual de 644.8 mm y una temperatura media anual de 15°C.

Dispositivo experimental

Se utilizó como dispositivo experimental una cama de arena. Era un semillero elevado de madera de cinco metros de largo por dos metros de ancho y 0.40 metros de profundidad colocado en piso de cemento con una ligera pendiente para el drenado del agua del riego o la precipitación. Como sustrato se usó arena esterilizada y cernida, con la misma profundidad como el receptáculo (40 cm). Para protección se colocó una estructura metálica y cubierta de malla sombra al 5% tipo “túnel” sobre el semillero (Figura 3.3).



Figura 3.3 Cama de arena donde se sembraron las poblaciones a evaluar

Siembra, diseño experimental y tratamiento

El experimento se estableció el 2 de mayo del 2014. Se sembraron las 12 poblaciones nativas y el híbrido de maíz (indicados en el cuadro 3.1) en la cama de arena, con un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron formados por hileras de 87.5 cm de longitud a 10 cm de separación. En cada hilera se sembraron 25 semillas por población de maíz a una distancia de 3.5 cm y 20 cm de profundidad, colocándolas con la región de la coleorriza hacia abajo y orientando el embrión hacia el este. La profundidad fue mayor que la profundidad acostumbrada en la región de estudio de humedad residual (10-15 cm), tanto para poder comparar con otros estudios que han usado esta profundidad, como para someter también el Chalqueño a cierto estrés.

Durante el experimento se registraron temperaturas mínimas de 10.5° C y máximas de 25.5°C y una humedad relativa que oscilaba entre los 60% y 70% en la estación meteorológica de la institución.

Variables evaluadas

Para evaluar el vigor de las poblaciones, las variables evaluadas fueron las siguientes:

(1) Velocidad de emergencia: Diariamente, entre los 7 a los 15 días después de la siembra, se contaron el número de plántulas emergidas; se calculó el coeficiente de velocidad de emergencia mediante la expresión de Maguire (1962).

La expresión es la siguiente:

$$VG = X_1/1 + X_2/2 + \dots + X_{i-1}/(i-1) + X_i/n$$

Donde:

X_i = Número de semillas emergidas por día

n = número de días después de la siembra

(2) Germinación: Se documentó el porcentaje de plantas emergidas. Además, se excavaron las que no lograron emerger de la superficie a los 15 días después de la siembra, se registró si habían germinado y se documentaron las que, presentaron raíz y plúmula bien desarrollada (Figura 3.4).



Figura 3.4 Ilustración de la cama de arena al terminar el experimento. Se muestran las plántulas que germinaron pero no lograron emerger.

A partir de un muestreo de 10 plántulas tomadas al azar (con lotería) del total de aquellas germinadas por unidad experimental se midieron las siguientes variables al terminar el experimento después de 15 días.

(3) Longitud de la parte aérea: Se midió del cuello de la raíz hasta la yema axilar de la segunda hoja ligulada, en cm utilizando una cinta métrica.

(4) Longitud de mesocótilo: Se midió a partir del nudo del cotiledón al nudo del coleóptilo en cm, con cinta métrica.

(5) Longitud del coleóptilo: Se consideró la longitud del coleóptilo del nudo del mesocótilo al siguiente nudo, en cm con cinta métrica.

(6) Peso seco: Las 10 plántulas utilizadas para medir las variables anteriores se separaron en sus diferentes estructuras y se colocaron en bolsas de papel estraza. Se secaron en una estufa de circulación forzada de aire a 70 °C por 72 horas. Al final de este periodo se obtuvo el peso seco en gramos (g) en una balanza de precisión. Las partes de las plántulas se seccionaron de la siguiente manera:

- Parte aérea: Hojas, incluyendo las vainas, y tallo que es muy pequeño en estados tempranos.
- Coleóptilo: Se consideró a la vaina y el tallo dentro de ella.
- Mesocótilo: Se midió del nudo del cotiledón al nudo del coleóptilo

Análisis de la información

A las variables registradas se le aplicó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS (SAS Institute 1988). Se aplicó una prueba de Tukey ($p=0.05$), para los tratamientos que resultaron ser significativos estadísticamente. También se aplicó un análisis de correlación a las variables en estudio.

Fase II.- Evaluación de mesocótilos y coleóptilos bajo diferentes temperaturas y profundidades de siembra

Poblaciones a evaluar

Las poblaciones a evaluar fueron las que presentaron características más contrastantes como porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, longitud de mesocótilo y coleóptilo principalmente. Se indican en el Cuadro 3.1.

Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el área de Cámaras, de Ambiente Controlado del Departamento de Campo, Campus Montecillo, municipio de Texcoco Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México del mes de julio a diciembre del 2014. El experimento se estableció en una cámara de ambiente controlado Partlow Temperature Control S.A.

Dispositivo experimental

Como dispositivos experimentales se emplearon rizotrones con armazón de madera y paredes de vidrio. A una de las paredes se le colocó una malla mosquitero que conformaba la parte trasera. Se sellaron con cinta canela para controlar los espacios por los que la raíz pueda salir del dispositivo. Se elaboraron rizotrones con tres diferentes dimensiones para acomodar las diferentes profundidades de siembra: 1) 20 cm de largo X 10 cm de ancho y 1.5 cm de espesor; 2) 30 cm de largo X 16.5 de ancho y 4.5 cm de espesor y 3) 43.5 cm de largo X 18 cm de ancho y 5.5 de espesor.

Diseño experimental y tratamiento

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con un arreglo de tipo factorial, con tres factores de estudio, dos factores con tres niveles y un factor con seis niveles. Los factores fueron: temperatura con dos niveles, 15 y 21°C; profundidad de suelo con tres niveles, 5, 15 y 20 cm; población con seis niveles, Ancho de Santa Catarina, Morelos, Ancho Traslocado de Cuecucuatitla, Ancho Traslocado de Cuijingo, Chalqueño de Cocotitlán, Cónico de Ixtapaluca, HS-2. Se tuvieron seis repeticiones. Las temperaturas experimentales se determinaron según las temperaturas promedio estimadas del suelo en las fechas de siembra en las localidades de producción de las poblaciones locales del sistema de humedad residual por un lado, y por el otro lado en el estado de Morelos.

Siembra

Se colocó una semilla de maíz previamente germinada pegada al vidrio en la parte de enfrente de cada rizotrón, según el caso a profundidades 5 cm, 15 cm y 20 cm (Figura 3.5). Los rizotrones se colocaron a una inclinación de aproximadamente 60° con respecto a la horizontal de la parte donde se ubicaba la semilla. Se pretendió promover el crecimiento del sistema radical hacia la parte del vidrio, aprovechando el crecimiento geotrópico positivo de la raíz. Se usó esta posición porque también se tomaron medidas de las raíces, pero estos datos no se incluyen en este trabajo.



Figura 3.5 Siembra a 15 cm de profundidad con una semilla previamente germinada

Muestreo

Se hizo un muestreo destructivo después de 15 días de la siembra. En este punto las plántulas habían emergido y las hojas se observaban flácidas por el agotamiento de las reservas de la semilla.

Variables respuesta

En las plántulas se separaron sus estructuras para medir las variables respuesta: Altura de planta, área foliar, longitud de mesocótilo, longitud del coleóptilo, volumen de raíz y peso seco (hoja, tallo, coleóptilo, mesocótilo y raíz).

3.3 RESULTADOS

Fase I.- Evaluación del vigor de semillas en camas de arena

Germinación y emergencia

El porcentaje de germinación fue superior al 90% en las camas de arena . En el porcentaje de germinación después de 15 días (emergidas o no) no se observaron diferencias significativas entre las poblaciones locales de maíz (Figura 3.6). Sin embargo, el porcentaje de plantas emergidas fue distinto entre las poblaciones. El mayor porcentaje de plantas emergidas se presentó en las poblaciones locales de maíz Chalqueño (72%), mientras que el menor número de plantas emergidas lo presentaron el híbrido HS-2 (12%) y las poblaciones locales de maíz Ancho de Morelos (6%). Estadísticamente, el Chalqueño y el Valles Altos se distinguen significativamente del grupo de Cónicos y Anchos traslocados, y éstos a su vez del HS-2 y el Ancho de Morelos.

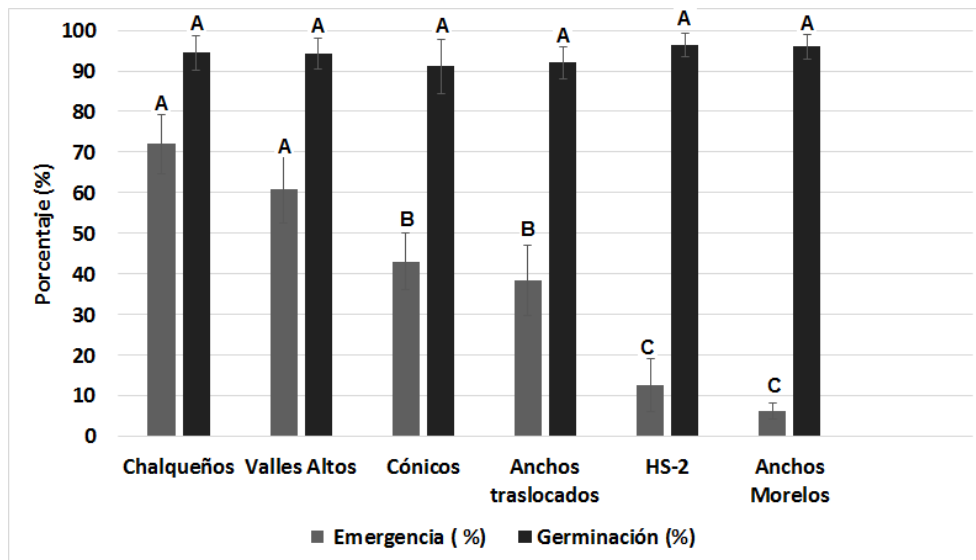


Figura 3.6 Porcentaje de germinación y emergencia de las poblaciones locales de maíz sembradas en camas de arena a 20 cm de profundidad. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey (alfa de 0.05), y las líneas la desviación estandar.

Velocidad de emergencia

Las poblaciones locales de tipo Chalqueño emergieron con mayor velocidad, seguido por las poblaciones locales de maíz Cónico. Las poblaciones locales de tipo Ancho de Morelos y el híbrido HS-2 presentaron la menor velocidad de emergencia (Figura 3.7). Estadísticamente, el Chalqueño se distinguió significativamente del grupo de Valles Altos/Cónicos/Anchos traslocados, y éstos a su vez del HS-2 y el Ancho de Morelos.

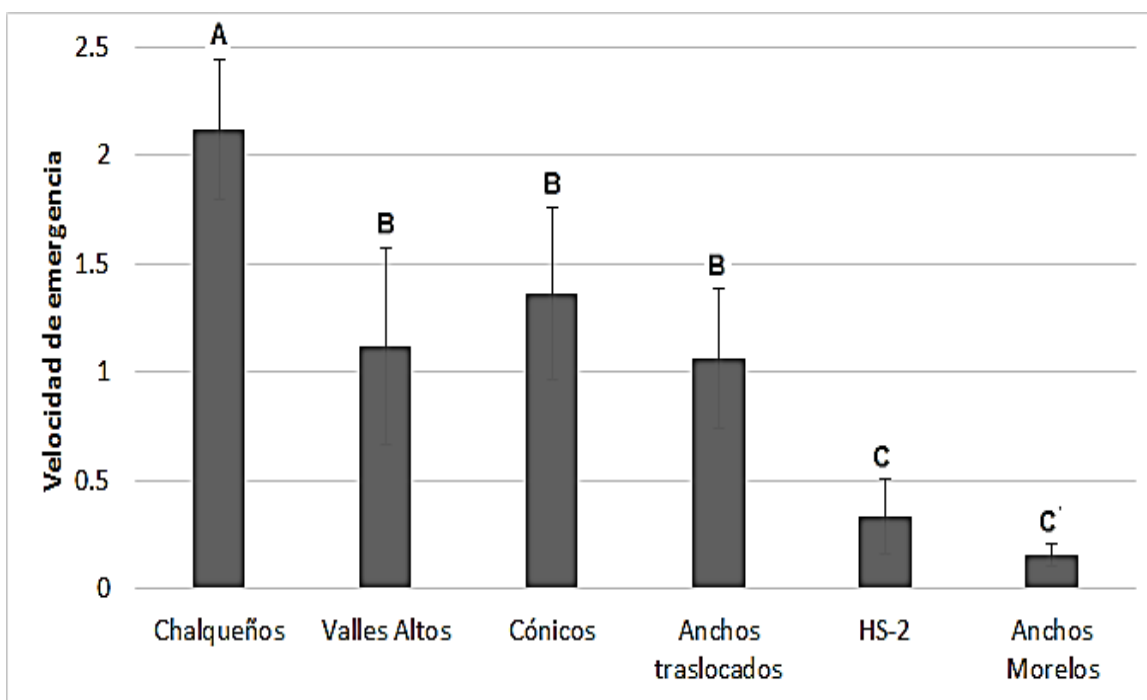


Figura 3.7 Velocidad de emergencia (Maguire 1962) de las poblaciones locales de maíz evaluadas en camas de arena a 20 cm de profundidad. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí ($\alpha = 0.05$) y las líneas la desviación estandar.

Longitud de los mesocótilos y coleóptilos

En la figura 3.8 se observa la comparación de medias de las variables longitud de mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones evaluadas. Las poblaciones de maíz Chalqueño registraron los mesocótilos más largos (17 cm) como se esperaba, seguidas por los maíces Cónicos y el maíz de Valles Altos (16.5 cm). Los maíces Anchos traslocados (13.4 cm) y los Anchos de Morelos (13.0 cm) tuvieron los mesocótilos más cortos, sin presentar diferencia significativa. Estadísticamente, los grupos de maíces Chalqueño, Valles Altos y Cónicos se distingue significativamente del HS-2 y éste a su vez de los Anchos traslocados y el Ancho de Morelos.

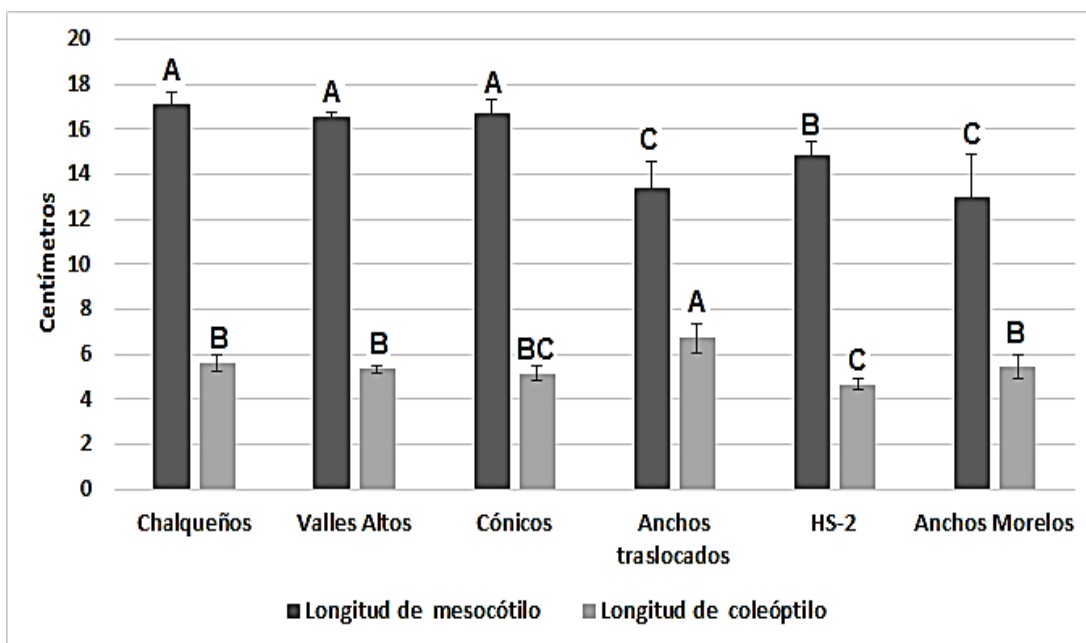


Figura 3.8 Comparación de las medias de las longitudes de mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones locales de maíz sembradas en camas de arena a 20 cm de profundidad, tomando en cuenta las dos temperaturas. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí ($\alpha = 0.05$) y las líneas la desviación estandar.

Los coleóptilos más largos los presentaron los maíces Anchos traslocados con 6.7 cm, seguidos por los Chalqueños, Anchos de Morelos y Valles Altos (5.3 cm). Los coleóptilos más cortos se observaron en el híbrido HS-2 de 4.6 cm. Estadísticamente, Ancho traslocado se distingue significativamente del grupo de Chalqueños/Valles Altos/ Anchos de Morelos y Cónicos, y éstos del HS-2.

Peso seco de los mesocótilos y coleóptilos

La asignación de las reservas de la semilla (materia seca) hacia el mesocótilo fue indistinta entre los materiales, es decir no se observaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los grupos (Figura 3.9).

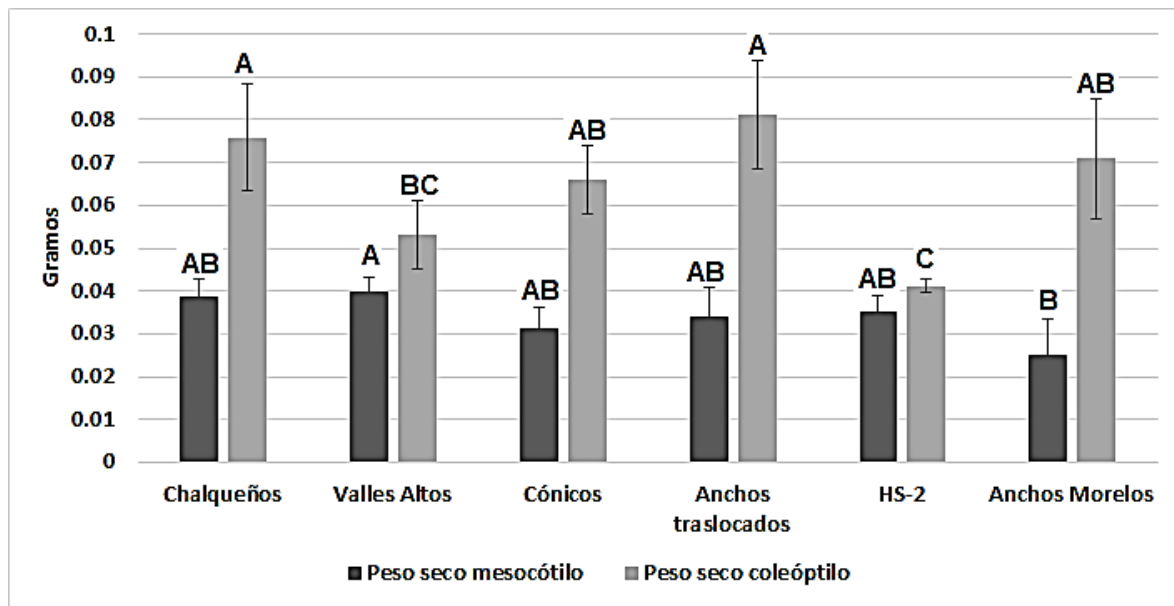


Figura 3.9 Peso seco de mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones locales de maíz sembradas en camas de arena a 20 cm de profundidad, en ambas temperaturas. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí ($\alpha = 0.05$) y las líneas desviación estandar.

En contraste, sí hubo diferencias en la asignación de materia seca a los coleóptilos. Las poblaciones locales de maíz Ancho traslocado y los Chalqueños

asignaron la mayor cantidad de reservas a esta estructura (0.081 y 0.075 g respectivamente), mientras que el híbrido HS-2 asignó la menor cantidad (0.041 g; Figura 3.9). Estadísticamente, el Chalqueño y Ancho traslocado se distinguieron significativamente del grupo de Anchos de Morelos y Cónicos, y éstos a su vez de Valles Altos y este del HS-2.

Correlaciones entre las variables

Las poblaciones con mayor porcentaje de emergencia presentaron mayor velocidad de emergencia ($r > 0.93$, $p \leq 0.01$; Cuadro 3.4). También se observó correlación positiva entre el peso seco de la parte aérea (PSPA) y el peso seco del coleóptilo (PSC) ($r > 0.782$, $p \leq 0.01$), pero no del mesocótilo. Correlaciones negativas y altamente significativas se observaron en las variables de porcentaje de emergencia (PE%) asociado a la variable de semillas germinadas pero que no pudieron emerger (GNE) ($r > -0.98$, $p \leq 0.01$), entre velocidad de emergencia (VE) y semillas germinadas pero que no pudieron emerger (GNE) ($r > -0.92$, $p \leq 0.01$), lo cual era de esperarse (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4 Relación entre once variables en prueba de emergencia a una profundidad de siembra de 20 cm, de 13 poblaciones de maíz de agroecosistemas de humedad residual

Fuentes de variación	Velocidad de emergencia (VE)	Porcentaje de emergencia (PE) (%)	Plántulas germinadas pero que no emergieron sobre la superficie del suelo (GNE) (%)	Semillas no germinadas (NG) (%)	Peso seco de mesocótilo (PSM) (g)	Peso seco de coleóptilo (PSC) (g)	Peso seco de la parte aérea (PSPA) (vástago) (g)	Longitud de mesocótilo (LM) (cm)	Longitud de coleóptilo (LC) (cm)	Altura de la plántula a la 2 hoja ligulada (AP2HL) (cm)
VE	1.000	0.930**	-0.920**	0.093	0.159	0.261	0.371	0.677**	0.020	0.651**
PE (%)		1.000	-0.985**	0.081	0.311	0.181	0.277	0.652**	0.060	0.689**
GNE (%)			1.000	-0.247	-0.286	-0.186	-0.303	-0.652**	-0.049	-0.683**
NG (%)				1.000	-0.090	0.047	0.209	0.101	-0.055	0.084
PSM (g)					1.000	-0.102	-0.056	0.239	-0.062	0.214
PSC (g)						1.000	0.782**	-0.007	0.542**	0.204
PSPA (g)							1.000	-0.073	0.429*	0.278
LM (cm)								1.000	-0.430*	0.667**
LC (cm)									1.000	-0.141
LTP (cm)										0.731**
AP2HL (cm)										1.000

Fase 2: Evaluación de mesocótilos y coleóptilos bajo diferentes temperaturas y profundidades de siembra

Longitud de los mesocótilos y coleóptilos

En el experimento en los rizotrones dentro de las cámaras de crecimiento, los mesocótilos y coleóptilos resultaron en promedio más cortos que en las camas de arena. El promedio bajó por el efecto de la inclinación, que mermó la elongación de las estructuras del brote considerando la alta profundidad (Figura 3.10 y figura 3.11).

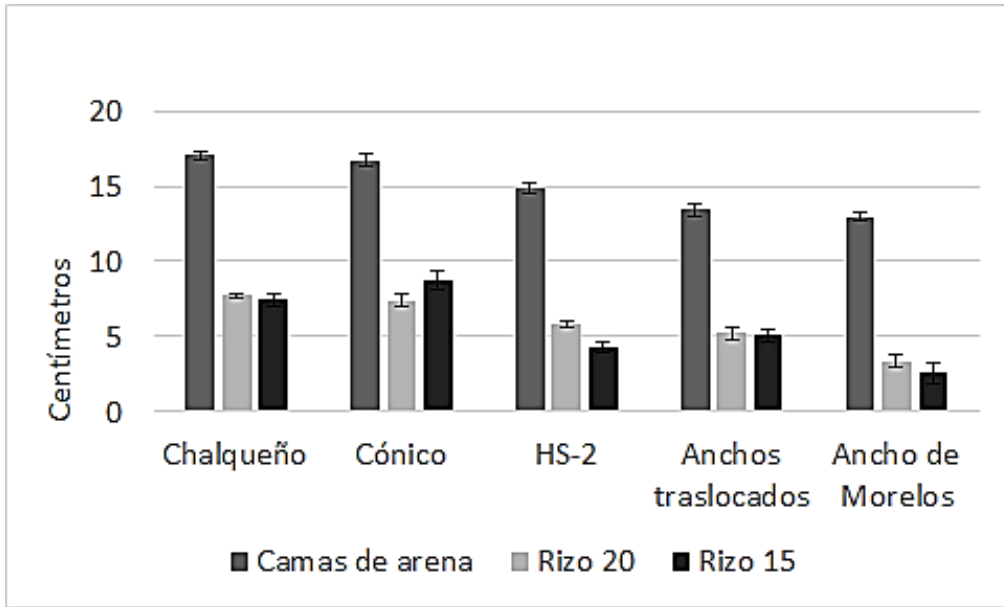


Figura 3.10 Comparación de la longitud del mesocótilo en los experimentos de las camas de arena y rizotrones por profundidad de siembra (Rizo 20 = 20 cm, Rizo 15 = 15 cm). Las barras muestran la media de todas las temperaturas; las líneas indican la desviación estandar

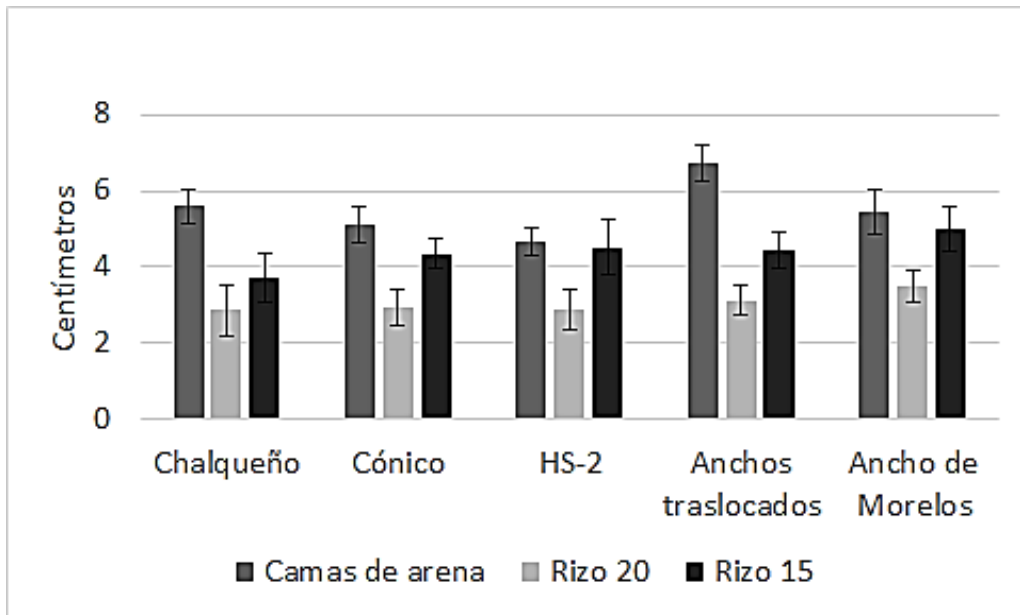


Figura 3.11 Comparación de la longitud del coleótilo en los experimentos de las camas de arena y rizotrones (Rizo 20 = 20 cm, Rizo 15 = 15 cm, ambas temperaturas).

Influencia de la temperatura en la longitud del mesocótilo y coleóptilo

La temperatura no influyó en la elongación del mesocótilo en los experimentos de ambiente controlado en rizotrones, considerando la media de todas las poblaciones y profundidades (Figura 3.12). Los coleóptilos resultaron ser ligeramente más largos (un poco más de 1 mm) en la temperatura más baja. El análisis Tukey mostró que la diferencia era significativa ($p= 0.05$).

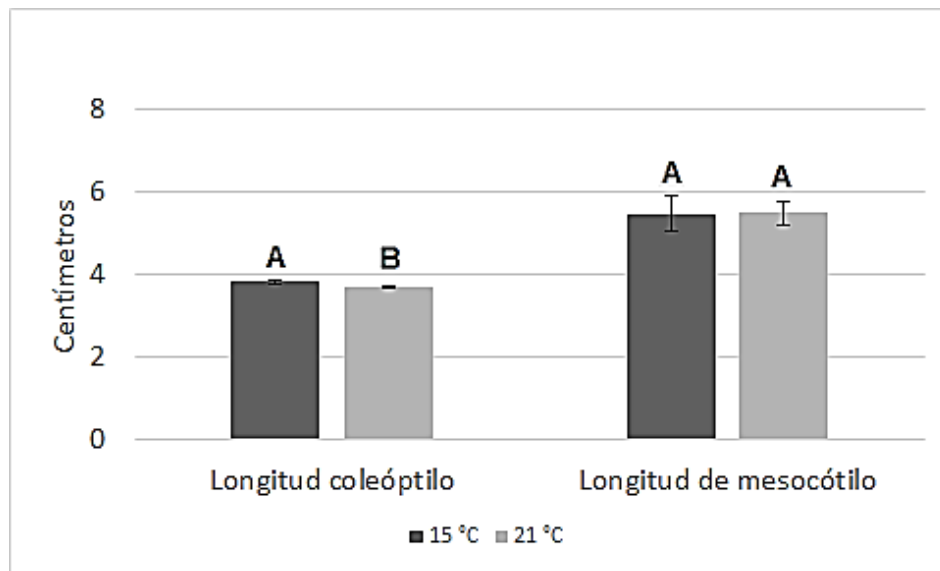


Figura 3.12 Influencia de la temperatura a 15°C y 21°C sobre de la media del crecimiento del mesocótilo y coleóptilo de todas las poblaciones locales de maíz evaluadas, bajo las tres profundidades de siembra (5, 15 y 20 cm). Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey ($p = 0.05$) y las líneas la desviación estandar.

Influencia de la profundidad de siembra en la longitud del mesocótilo y coleóptilo

En contraste, la profundidad de siembra (5, 15 y 20 cm) sí influyó el crecimiento del coleóptilo y mesocótilo de los maíces evaluados (Figura 3.13). El mesocótilo fue más largo a mayor profundidad de siembra, pero no hubo diferencia significativa entre los datos de 15 y 20 cm. La mayor longitud de coleóptilo se

presentó a los 15 cm de profundidad y la menor a 20 cm. Las diferencias entre las tres profundidades fueron significativas ($p = 0.05$).

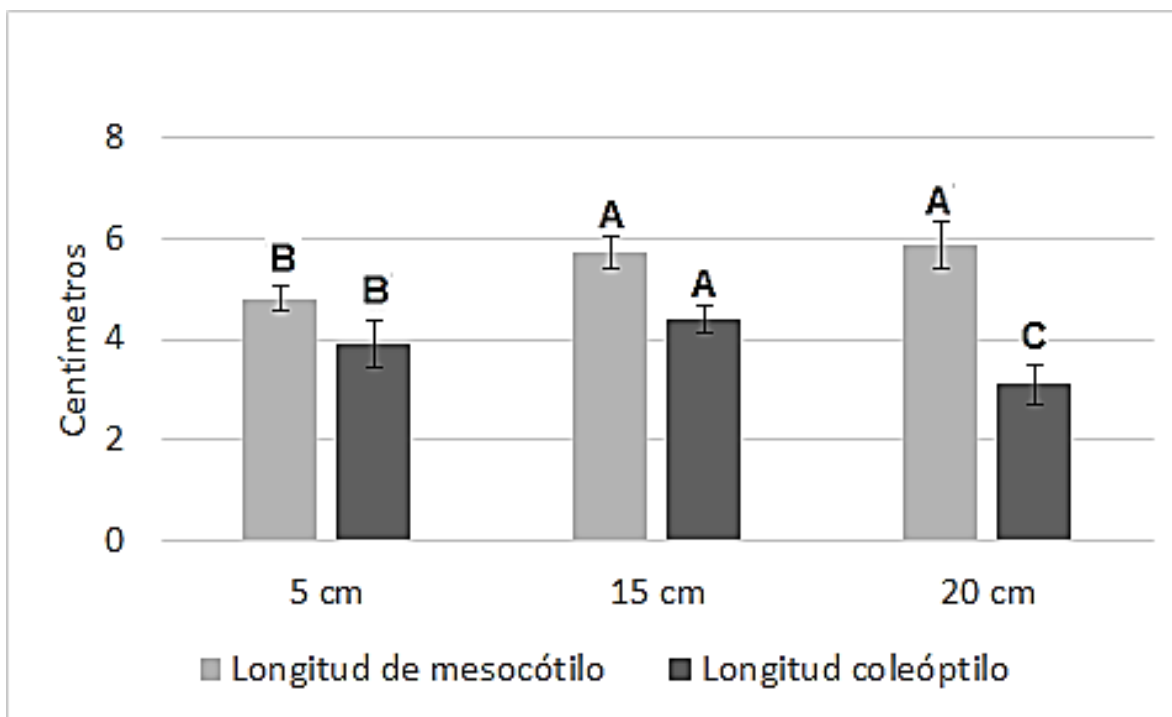


Figura 3.13 Influencia de la profundidad de siembra sobre el crecimiento del mesocótilo y coleóptilo, tomando la media de las temperaturas de 15°C y 21°C y de las poblaciones de maíz evaluadas. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey ($p = 0.05$) y las líneas la desviación estandar.

Influencia de las poblaciones en la longitud del mesocótilo y coleóptilo

Se encontraron diferencias ($p = 0.05$) significativas en la longitud del mesocótilo entre poblaciones (Figura 3.14). Las poblaciones de maíz Chalqueño y Cónico tuvieron los mesocótilos más largos con 7.4 y 7.1 cm respectivamente, seguido por el híbrido HS-2 con 5.2 cm y los Anchos traslocados con 4.7 cm. La menor longitud se registró en el maíz Ancho de Morelos con 3.0 cm. No se presentaron

diferencias estadísticas ($p = 0.05$) en la longitud de coleóptilo entre las poblaciones evaluadas, aunque se observa una longitud ligeramente mayor entre los maíces Anchos.

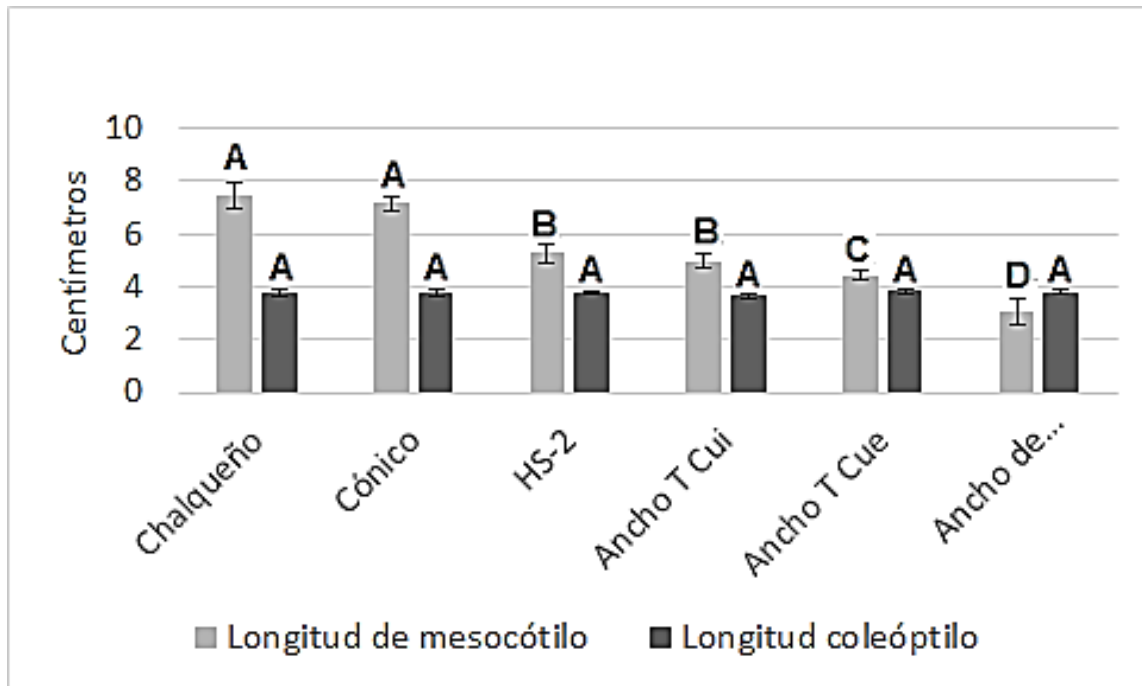


Figura 3.14 Longitud media del mesocótilo y coleóptilo de las poblaciones de maíz evaluadas, mostrando la media de las temperaturas de 15°C y 21°C y de las tres profundidades de siembra 5, 15 y 20 cm. Las letras indican grupos significativamente diferentes entre sí, con la prueba de Tukey ($p=0.05$) y las líneas la desviación estandar.

Influencia de los factores por separado en la longitud del mesocótilo y coleóptilo

Al considerar las influencias de material genético, temperatura y profundidad de siembra por separado, se observaron comportamientos contrastantes de los materiales. A una profundidad de siembra somera (5 cm) y la temperatura más fría (15° C), el maíz Chalqueño presentó la mayor longitud de mesocótilo (7.4 cm) y coleóptilo (4.9 cm). Por el contrario los maíces Anchos de Morelos expresaron la

menor longitud de mesocótilo (1.5 cm) y coleóptilo (2.0 cm). Cuando la profundidad de siembra incrementó, los maíces Cónicos elongaron el mesocótilo y todas las poblaciones incrementaron la longitud de coleóptilo, pero sin presentar diferencias estadísticas (Figura 3.15).

Llama la atención que en condiciones donde no hay presión por profundidad de siembra (5 cm) el maíz Ancho traslocado de Cuecucuatitla (maíz de transición de 2300 m) y Ancho de Morelos (1700 m) presentan coleóptilos más largos que mesocótilos. Sin embargo a mayor profundidad (15 cm) el maíz Ancho traslocado de Cuecucuatitla elongó el mesocótilo y el maíz Ancho de Morelos elongó el coleóptilo. En contraste el Ancho traslocado de Cuijingo (situado en los 2500 m) presentó la misma relación entre la longitud de mesocótilo y coleóptilo que los maíces locales Chalqueño, Cónico y HS-2: el mesocótilo más largo que el coleóptilo (Figura 3.15).

En la temperatura de 21°C en las profundidades de 5 cm y 20 cm se observó poca variación entre la longitud de coleóptilos y mesocótilos de las poblaciones evaluadas. Sobresalen los maíces Chalqueños con mesocótilos largos (6.5 y 7.9) y los Anchos de Morelos con mesocótilos mas cortos (4 cm y 4.6) (Figura 3.15).

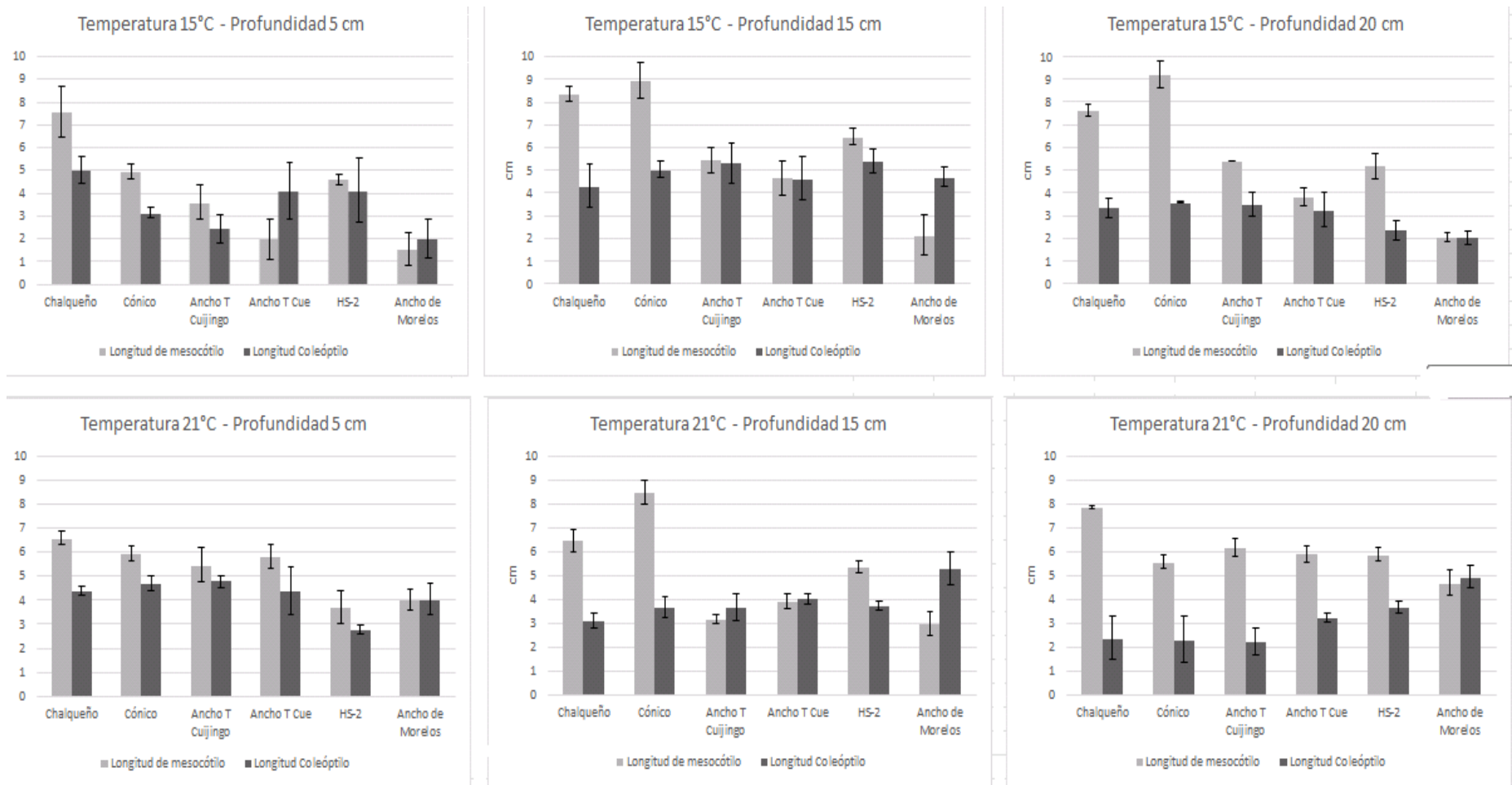


Figura 3.15 Efecto de la temperatura (15° y 21°C) y profundidad de siembra (5, 15 y 20 cm) de las poblaciones evaluadas en rizotrones dentro de cámaras de ambiente controlado. Las líneas muestran la desviación estándar.

3.4 DISCUSIÓN

Fase I.- Evaluación del vigor de semillas en camas de arena

En el experimento en camas de arena los maíces Anchos de ambos tipos tuvieron menor velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia a 20 cm de profundidad que las poblaciones locales de maíz Chalqueño, lo cual era lo esperado. El mejor establecimiento de los maíces Chalqueños confirma los estudios llevados a cabo por Montes (2014), Esquivel *et al.* (2009), Pérez de la Cerda *et al.* (2007) y García (2004), quienes determinaron que las poblaciones de maíz Chalqueño de esta región son mucho más vigorosas y tienden a emerger mucho más rápido que otros cultivares de la misma raza en otras regiones (La Sierra Purépecha de Michoacán) y de distintas razas (Jala).

Llama la atención la poca emergencia y viabilidad (en métodos) del híbrido HS-2, lo cual se puede atribuir parcialmente a que era semilla de un ciclo anterior que el resto de las poblaciones. La semilla se mantuvo almacenada a temperatura ambiente (25°C) y con un contenido de humedad menor del 11% estos factores aceleran el deterioro fisiológico de las semillas de un año a otro (hasta 25%) al mermar sus propiedades de viabilidad y vigor (Moreno *et al.* 2000; Aristizábal y Álvarez 2006; Salinas y Sánchez 2006).

La mayor elongación de mesocótilo la presentaron los maíces Chalqueños y la mayor elongación de coleóptilo se observó en ambos maíces Anchos, por lo que sugerimos que las poblaciones de maíz Ancho traslocado logran la emergencia al desarrollar coleóptilos más largos como respuesta inmediata a la siembra profunda. Con el paso del tiempo tienden a desarrollar mesocótilos más largos.

Observamos que los agricultores promueven intencionalmente cruces con Chalqueño blanco para mejorar el color del grano del maíz; esto puede tener efectos sobre otros caracteres también. Así que no sabemos exactamente si la elongación ligera observada en la población de Ancho traslocado de mayor altitud

se deba a selección por parte de los agricultores, introgresión o ambas (Rieseberg y Wendel 1993; Louette y Smale 2000).

Estudios previos sugieren que la mayor velocidad de emergencia en poblaciones de maíz está correlacionada con la tasa relativa de movilización de reservas del endospermo y la eficiencia de la conversión de estas reservas a los nuevos tejidos de la plántula (Eagles y Hardacre 1979 y Brookin 1990 para maíz).

Por lo general se ha encontrado una correlación positiva entre semillas grandes con velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia asociados a un mejor vigor de la semilla (Villaseñor 1984; Magaña 1992; Moreno-Martínez *et al.* 1998). Sin embargo, en este estudio las semillas de maíz Ancho son mas grandes (1.0 cm y 1.6 cm y 930 cm³ de 100 semillas) que la de los maíces Chalqueños (0.9 y 1.7 mm 700 cm³ de 100 semillas) (Herrera *et al.* 2004). Sugerimos que, si bien esto es una relación cierta en general, aquí no se encontró ya que el vigor también tiene un fuerte componente genético, resultado de selección (Turner *et al.* 1982).

La asignación de materia seca hacia el mesocótilo fue indistinta entre los materiales. Atribuimos las diferencias en la longitud del mesocótilo a la elongación de las células por acumulación de agua dentro de las mismas y no por su multiplicación (Evans y Cleland 1985). Por el contrario, la asignación de materia seca hacia el coleóptilo entre los grupos fue diferente. En este caso, se sugiere que sí hubo elongación por multiplicación celular. Cabe recordar que para esta variable no solo se consideró la vaina que es el coleóptilo, sino también la sección del tallo que se encontraba envuelta por el coleóptilo de cada población, lo que pudo haber incrementado la variación en la asignación de materia seca.

Fase 2: Evaluación de mesocótilos y coleótilos bajo diferentes temperaturas y profundidades de siembra

La profundidad de siembra (5, 15 y 20 cm) sí influyó en el crecimiento del mesocótilo y coleóptilo de los maíces evaluados, como era de esperarse. El mesocótilo y coleóptilo eran más largos a mayor profundidad de siembra. Como ya

se mencionó en la sección anterior, este fenómeno está bien conocido en maíz (Montes 2014; Esquivel *et al.* 2009; Pérez de la Cerda *et al.* 2007; García 2004). Lo mismo se reportó con otras especies de pastos, *Tetrachne dregei*, *Panicum coloratum* y *Eragrostis curvula* (Martínez *et al.* 2003). Copeland y McDonald (2012) indican que bajo estas condiciones de siembra la semilla utiliza mayor cantidad de sustancias de reserva para la elongación de sus estructuras y poder emerger.

La temperatura no influyó en la elongación del mesocótilo en los experimentos de ambiente controlado en rizotrones. Pero los coleóptilos resultaron ser ligeramente más largos en la temperatura más baja (15° C) que en la más alta (21°C). Se ha reportado que en cultivares de maíz, trigo, avena y sorgo temperaturas bajas (15°C) promueven la elongación del coleóptilo, y temperaturas mayores a 20°C progresivamente disminuyen la longitud del coleóptilo (Radford 1987; Radford y Henzell 1990; Radford y Key 1993; Trethowan *et al.* 2001). En maíz el crecimiento cesa completamente a temperaturas mayores de 40° C (Blacklow 1972; Weaich *et al.* 1996). Miedema (1982) reporta que en cultivos de maíz las temperaturas bajas (16 °C) inhiben mas el crecimiento del mesocótilo que del coleóptilo. Entonces, nuestros resultados confirman estas observaciones.

Este efecto se atribuye a la acción del ácido indolacético (IAA). Zhao y Wang (2010) correlacionaron el aumento de la longitud de mesocótilos de maíz bajo condiciones de siembra profundas con un mayor nivel de IAA endógeno tanto en genotipos tolerantes a siembras profundas como en genotipos poco tolerantes. Otros estudios indican que elongaciones de coleóptilos de maíz, entrenudos de guisantes, raíces de *Eleutherococcus senticosus* fueron suprimidas en gran medida por la aplicación de inhibidores del transporte de auxina, tales como el ácido naftilftalámico y ácido triyodobenzoico (Haga y Lino 1993).

Comparación de la Fase 1 y Fase 2

Por lo general, los resultados de la fase 1 y la fase 2 muestran tendencias similares. La diferencia más llamativa fueron los mesocótilos y coleoptilos mucho

más cortos en el experimento de los rizotrones (Figura 3.10 y 3.11.). El dispositivo experimental se colocó a una inclinación que favoreció la evaluación del crecimiento geotropismo de la raíz (datos no mostrados aquí); entonces el crecimiento de la plúmula se veía obstaculizado al chocar continuamente con el vidrio. El esfuerzo por curvarse terminó por mermar la elongación y emergencia (Taiz y Zeiger 2006).

Este trabajo es el primero que muestra los efectos morfológicos de la selección campesina al introducir una población de maíces a un ambiente nuevo y muy distinto. Además, se muestra que el coleóptilo es una estructura que ayuda a la adaptación a la siembra profunda.

3.5 CONCLUSIONES

La primera respuesta de los maíces Anchos traslocados a la siembra profunda es la elongación del coleóptilo, posiblemente en respuesta a temperaturas más bajas. Con mayor tiempo de adaptación y selección, también inician una elongación del mesocótilo. Pero, esta última elongación no se refleja en la biomasa de las estructuras - al parecer se basa en una acumulación de agua en las células.

Las demás poblaciones locales de maíz evaluadas no mostraron diferencias significativas entre las poblaciones para el crecimiento del coleóptilo, pero sí para mesocótilo, sobre todo al considerar la influencia de las dos temperaturas y tres profundidades de siembra. Se observa claramente la mejor adaptación del maíz Chalqueño a la siembra profunda; los maíces Cónicos y Valles Altos tienen mesocótilos más cortos.

De estos resultados se desprenden varias interrogantes. ¿La respuesta del coleóptilo de los maíces Anchos traslocados se debe sólo a las temperaturas más bajas, o también ya a efectos de selección? ¿La mayor adaptación de los Anchos traslocados del sitio más alto se debe a selección o introgresión, o ambas? También sería útil profundizar el conocimiento sobre la relación comparativa entre

la elongación de estas dos estructuras y el número de células en diferentes poblaciones, y su control fisiológico.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-J JA, González-R JJ (2012) Diversidad de maíces criollos y determinación de sus custodios en el sureste del Estado de México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. 104 p.
- Anderson E, Cutler HC (1942) Races of *Zea mays* L. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29:69-88
- Andrade-B HJ (1992) Mejoramiento del vigor en semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 98 p.
- Antuna O, Rincón F, Gutiérrez E, Ruiz NA, Bustamante L (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:11-17.
- Aristizábal-L M, Álvarez LP (2006) Efectos del deterioro de la semilla sobre el vigor, crecimiento y producción del maíz (*Zea mays* L.). *Agronomy* 14:17-24.
- Benz BF (1986) Taxonomy and evolution of Mexican maize. Unpublished Ph.D. dissertation, University of Wisconsin, Madison. University Microfilms International, Ann Arbor. 433 p.
- Blacklow WM (1972) Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science* 12:647-650.
- Brooking IR (1990) Variation amongst races of maize from Mexico and Peru for seedling emergence time at low soil temperatures. *Maydica* 35:35-40.
- Bustamante-G L (1983) Semillas: control y evaluación de su calidad. In: Memorias del curso de actualización sobre tecnología de semillas. AMSAC. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Pp. 99–106.

- Evans ML, Cleland RE (1985) The action of auxin on plant cell elongation. *Critical Reviews in Plant Sciences* 2(4):317-365.
- Cleland RE (2010) Auxin and cell elongation. In: Davies PJ (ed.) *Plant Hormones*. 3rd revised edition. Springer, Dordrecht, Netherlands. Pp. 204-220
- CONABIO (2010) Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F.
- CONABIO (2011) Base de datos del proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
- Collins GN (1914) A drought-resisting adaptation in seedlings of Hopi maize. *Journal of Agricultural Research* 1:293-302.
- Copeland LO, McDonald M (2012) *Principles of seed science and technology*. 4th edition. Springer, New York. 84 p.
- Delouche JC, Caldwell WP (1960) Seed vigor and vigor tests. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts* 50:124-129.
- Eagles HA, Hardacre AK (1979) Genetic variation in maize for early seedling growth in a low temperature environment. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 22:553-559. DOI: 10.1080/00288233.1979.10417823
- Eagles HA, Laothrop J (1994) Highland maize from Central Mexico - its origin, characteristics, and use in breeding programs. *Crop Science* 34:11-19.
- Esquivel-E G, Castillo-G F, Hernández-C JM, Santacruz-V A, García-S A, Acosta-G JA, Ramírez-H A (2009) Aptitud combinatoria y heterosis en etapas tempranas del desarrollo del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:311-318.
- Font Quer P (1982) *Diccionario de Botánica*. 8ª reimpresión. Editorial Labor, Barcelona.
- García E (1988) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Offset Larios, México DF. 217 p.

- García-C E (2004) Variabilidad genética para capacidad de emergencia en dos poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 80 p.
- Gola G, Negri G, Cappelletti C (1965) Tratado de botánica. 2ª edición. Editorial Labor, Barcelona. 1110 p.
- González-E A (1971) Estudio del mesocótilo como característica en la clasificación biosistemática de maíz. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México DF. 47 p.
- Goodman MM, McK-Bird R (1977) The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31:204-221.
- Haga K, Lino M (1993) Auxin-growth relationships in maize coleoptiles and pea internodes and control by auxin of the tissue sensitivity to auxin. *Plant Physiology* 117:1473-1486.
- Hernández-X E, Alanís-F G (1970) Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.
- Herrera-C BE, Castillo-G F, Sánchez-González JJ, Hernández-C, JM, Ortega-P RA (2004) Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- INEGI (2010) Censo de Población y Vivienda 2010. In: INEGI. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?> Accessed 4 Jan 2016
- Louette D, Smale M (2000) Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. *Euphytica* 113:25-41.
- Maiti RK (1986) Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México. 419 p.
- Magaña-L S (1992) Calidad física y fisiológica de semillas de líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.) de valles altos en México. Tesis de licenciatura.

- Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 72 p.
- Maguire JD (1962) Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Science* 2:176-177.
- McDonald MB (1998) Seed quality assessment. *Seed Science Research* 8:265-276.
- Martínez O, de los A Ruiz M, Babinec FJ (2003) Implantación de gramíneas forrajeras perennes estivales de importancia para la región pampeana semiárida. *Boletín Técnico, INTA. ANGUIL* 79. 4:22-25.
- Miedema P (1982) The effects of low temperature on *Zea mays*. *Advances in Agronomy*, 35:93-128.
- Montes-H LA (2014) Aspectos tradicionales y genéticos asociados al maíz raza Jala. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 95 p.
- Moreno-M E (1996) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3.^a edición Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México 393 p
- Moreno-Martínez E, Vazquez-Badillo ME, Rivera A, Navarrete R, Esquivel-Villagrana F (1998) Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Science and Technology* 26:439-448 p
- Moreno-M E, Facio-P F, Vázquez-B ME (2000) La temperatura en relación con la longevidad de semillas de maíz almacenadas con baja humedad. *Agrociencia* 34:175-180.
- Onderdonk JJ, Ketcheson JW (1972) A standardization of terminology for the morphological description of corn seedlings. *Canadian Journal of Plant Science* 52:1003-1006
- Pérez de la Cerda FJ, Córdova-L T, Santacruz-A V, Castillo-G F, Cárdenas-E S, Delgado-A A (2007) Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus

- componentes en poblaciones de maíz Chalqueño. *Agricultura Técnica en México* 33:5-16.
- Perry DA (1981) Seedling growth and seedling evaluation tests. In: Perry DA (ed.) *Handbook of Vigour Test Methods*. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 10-20 p.
- Radford BJ (1987) Effect of constant and fluctuating temperature regimes and seed source on the coleoptile length of tall and semidwarf wheats. *Animal Production Science* 27:113-117.
- Radford BJ, Henzell RG (1990) Temperature affects the mesocotyl and coleoptile length of grain sorghum genotypes. *Crop and Pasture Science* 41:79-87.
- Radford BJ, Key AJ (1993) Temperature affects germination, mesocotyl length and coleoptile length of oats genotypes. *Crop and Pasture Science* 44:677-688.
- Rieseberg LH, Wendel JF (1993) Introgression and its consequences in plants. *Hybrid zones and the evolutionary process*. Editorial Oxford University Press, Inc. NY. Pp. 70-109.
- Ritchie SW, Hanway JJ (1992) How a corn plant develops. Special report No. 48. Ames, IA, USA, Iowa State University.
- Ron-P J, Sánchez-G JJ, Jiménez-C AA, Carrera-V JA, Martín-L JG, Morales-R MM, de la Cruz-L L, Hurtado de la P SA, Mena-M S, Rodríguez-F JG (2006) Maíces nativos del Occidente de México 2004. *Scientia-CUCBA* 8:1-139.
- Rost TL, Barbour MG, Stocking CR, Murphy TM (1998). *Plant biology*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA.
- Ruiz-C, JA, Durán PN, Sánchez-G JJ, Ron-P R, González-E DR, Medina-G G, Holland BJ (2008) Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Science*. 48:1502-1512.
- Salinas J, Sánchez J (2006) *Arabidopsis* protocols. 2da edition. Humana Press, Totowa, New Jersey. 469 p.
- Sánchez JJ, Goodman MM, Stuber CW (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany* 54:43–59.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT user's guide, Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC.

- Strassburger E (1994) Tratado de botánica. 8ª edición. Omega, Barcelona. 1088 p.
- Taiz L, Zeiger E (2006) Plant physiology. 4th edition. Sinauer, New York. 690 p.
- Trethowan R, Singh RP, Huerta-Espino J, Crossa J, Van Ginkel M (2001) Coleoptile length variation of near-isogenic Rht lines of modern CIMMYT bread and durum wheats. *Field Crop Research* 70:167-176.
- Tucker SC (1957) Ontogeny of the etiolated seedling mesocotyl of *Zea mays*. *Botanical Gazette* 118:160-174.
- Turner FT, Chen CC, Bollich CN (1982) Coleoptile and mesocotyl lengths in semidwarf rice seedlings. *Crop Science* 22:43-46.
- Vargas-G, M (1966) Influencia de la longitud del mesocótilo-coleóptilo en la emergencia de plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 39 p.
- Villaseñor-M HE (1984) Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 149 p.
- Weaich K, Bristow KL, Cass A (1996) Modeling pre-emergent maize shoot growth. II. High temperature stress conditions. *Agronomy Journal* 88:398-403.
- Wellhausen EJ, Roberts LM, Hernández-X E, Mangelsdorf PC (1951) Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 237 p.
- Zhao G, Wang JH (2008) Effect of gibberellin and uniconazole on mesocotyl elongation of dark-grown maize under different seeding depths. *Plant Production Science* 11:423-429.
- Zhao GW, Wang JH (2010) Effect of auxin on mesocotyl elongation of dark-grown maize under different seeding depths. *Russian Journal of Plant Physiology* 57:79-86

Capítulo 4. Discusión y conclusión general

4.1 DISCUSIÓN GENERAL

De acuerdo a los resultados, se observó el mismo manejo para el maíz introducido (Ancho) como para el local (Chalqueño). Esto se debe a las condiciones del sistema humedad residual del suelo en el agroecosistema. El maíz traslocado tuvo que adaptarse en cuanto al manejo y el ciclo del cultivo, modificando, la morfología de la plántula (González, 1971; Eagles y Laothrop, 1994; Pescina *et al.*, 2009).

En este trabajo se muestra que la introducción del maíz tropical no solo se debe a razones económicas. Los campesinos han percibido un incremento de la temperatura. Este incremento ha mermado la productividad de las poblaciones locales de maíz Chalqueño, y fue un motivo adicional para experimentar con el maíz Ancho. Mercer y Perales (2010) indican que en general, las poblaciones nativas de los Valles Altos exhiben una plasticidad relativamente baja e insuficiente para adaptarse a condiciones más calurosos. Esta observación se confirma con este trabajo, y concuerdan también con resultados sobre la relación entre la plasticidad en el fenotipo y la adaptabilidad encontrados por Gianoli (2004).

En general los agricultores tienen consciencia sobre la variabilidad climática. En la región del Sahel, las estrategias de adaptación han incluido tradicionalmente la diversificación de cultivos, la diversificación de los medios de subsistencia, y la migración (Mertz *et al.*, 2009). En este caso, los sistemas tradicionales de mejoramiento y el flujos de semilla entre los agricultores han sido una alternativa para contrarrestar los efectos del cambio climático (Hellin *et al.*, 2014).

Las plántulas se responden al sistema de profundidad de siembra primero mediante la elongación del coleóptilo. Dicha elongación es promovida por las bajas temperaturas: el efecto de las bajas temperaturas (15°C) sobre la elongación del coleóptilo se ha observado en otros cultivos como trigo, avena y sorgo

(Radford, 1987; Radford y Henzell, 1990; Radford y Key, 1993; Trethowan *et al.*, 2001). Con más años de cultivo los maíces traslocados también elongan el mesocótilo como posible efecto de la selección e hibridación asistida. Los campesinos reconocen que los cultivares se cruzan y expresan características mezcladas de ambos (Ortega, 2003).

4.2 CONCLUSION GENERAL

En esta investigación se estudió la dinámica de mejoramiento empírico de poblaciones traslocadas de maíz Ancho, con énfasis en semilla, siembra y plántula. Se documentó que el maíz Ancho traslocado se adapta al sistema de su nuevo habitat. Los agricultores proporcionan el mismo manejo tradicional a los cultivares de maíz Anchos traslocados que a sus cultivares locales, debido a las condiciones ambientales especiales del agroecosistema de humedad residual.

Pero, también se mostró que un motivo importante para la traslocación del maíz Ancho fue un cambio en la temperatura observada y una baja en el rendimiento del maíz local. Entonces, la introducción del maíz Ancho es una adaptación del sistema.

Las plántulas del maíz traslocado muestran algunas adaptaciones a las nuevas condiciones, pero no en los mismos órganos como el maíz local (mesocótilo). Primero elongan el coleóptilo, que posiblemente es una expresión fenética debida a las bajas temperaturas. Después de más tiempo de adaptación y posible introgresión genética con el maíz local inicia la elongación del mesocótilo.

4.3 LITERATURA CITADA

- Pressoir G, Berthaud J (2004) Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92:95–101.
- Hellin J, Bellon MR, Hearne SJ (2014) Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *Journal of Crop Improvement*: 28:484-501. DOI:10.1080/15427528.2014.921800
- Louette D (1995) Seed exchange among farmers and gene flow among maize varieties in traditional agricultural systems. In: Serratos JA, Willcox M, Castillo-Gonzalez F (eds) *Gene flow among maize landraces, improved maize varieties, and teosinte: implications for transgenic maize*, pp 56-66.
- Louette D, Charrier A, Berthaud J (1997) In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Econ Bot* 51:20–38.
- Perales HR, Benz BF, Brush SB (2005) Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *PNAS* 102:949–954.
- Wilkes G (1993) Germplasm collections: Their use, potential, social responsibility and genetic vulnerability. In: Buxton DR, Shibles R, Forsberg RA, Blad BL, Asay KH, Paulsen GM, Wilson GF (eds) *International Crop Science I*. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp 445-450.

Anexo

Capitulo 2 Does translocated maize adapt to the agricultural system, or the system to the maize? Tropical Ancho maize in a highland residual moisture system

Anexo 2.1.-Origin and dynamics of the seeds

State	Agroecosystem	Farmer	Cultivar	Years planting the population	Place of origin of the seed	Person from whom the seeds were obtained
Mexico State	Rainfed	1	Translocated Ancho	More than 25 yr	Morelos	Father
			Chalqueño Azul	More than 50 yr	Home locality	Grandparents
			Pepitilla	7 yr		Seed Exchange Network
		2	Translocated Ancho	15 yr	Totolapan, Morelos	
			Chalqueño Azul	More than 30 yr		
	Residual humidity	3	Chalqueño Crema	More than 50 yr	Home locality	Father
			Chalqueño Azul	More than 30 yr	Home locality	Doesn't remember
			Translocated Ancho	10 yr	Tlanepantla, Morelos	A farmer who was working in a field
		4	VA8H	More than 80 yr	Home locality	Grandparents
			Chalqueño Azul			
		5	Chalqueño Crema	More than 60 yr	Home locality	Father
			Niebla	Bought every year in the last 5 yr	Temamatla, Mexico State	Agricultural Engineer
			HS-8	Cultivated for the first time	Ayapango, Mexico State	Government (SEDAGRO)
		6	Chalqueño Crema	More than 15 yr	Home locality	Neighbor
Chalqueño Amarillo	2 yr		Chapingo (University)	University professor		

Morelos		7	Chalqueño Blanco	More than 15 yr	Home locality	Neighbor
			Chalqueño azul	More than 15 yr	Home locality	Neighbor
			Niebla	Bought every year in the last 6 yr	Temamatla, Mexico State	Agricultural Engineer
			Translocated Ancho	First cycle	Home locality	Neighbor
	8	Chalqueño Crema	"Always"	Home locality	Grandparents	
	Rainfed	9	Cónico amarillo	More than 30 yr	Home locality	Neighbor
			Cónico blanco	"Always" had the seed, for several generations	Home localityHome locality	Father
		10	Cónico amarillo	4 yr	Home locality	Neighbor
			Cónico blanco	5 yr	Home locality	Neighbor
		11	Ancho blanco	More than 50 yr	Home locality	Father
			Hibrido 515	Bought every year		
	Hibrido 516		Bought every year			
12	Ancho blanco	More than 90 yr	Home locality	Father		
	Ancho azul	More than 90 yr	Home locality	Father		
	Pepitilla (pitillo)	More than 40 yr, but she cultivates very little of it	Home locality	Neighbor		

Cultivar tradicional de la región,

Un nuevo cultivar experimental,

Un cultivar introducido con éxito ([El agricultor no experimentó, observó la introducción y el éxito de sus compañeros, para después sembrar la semilla ya adaptada a la zona](#))

Un híbrido comercial.

Anexo 2.2.- Reasons for the interest in particular maize cultivars

State	Agroecosystem	Farmer	Cultivar	Cultivated area	Estimated production	Production system	Reasons for cultivating the maize type	What the farmer likes about the maize population	What the farmer doesn't like about the maize
Mexico State	Rainfed	1	T Ancho	1 ha	1.5 t	Polyculture	To eat, for selfconsumption	The grain for pozole	
			Chalqueño Azul	1 ha	1 t	Polyculture	Because of the color	The bracts, meal for tortillas, pinole and atole	Tends to lodge
			Pepitilla	1 ha	1.5 t	Polyculture	Because of tradition	Meal for tortillas, isn't as susceptible to weeds	
		2	T Ancho	1.2 ha	2.5 t	Polyculture and mosaic	The price is better		
			Chalqueño Azul	1 ha	3 t/ha	Polyculture	To eat, for selfconsumption		
		Residual humidity	3	Chalqueño Crema	1 ha	3 t/ha	Polyculture	For selfconsumption, animals and sale	Yields more than the hybrid
	Chalqueño Azul			1 ha	3 t/ha	Polyculture	For selfconsumption, animals and sale	Yields more than the hybrid	
	T Ancho			1 ha	4.5 t/ha	Polyculture	For selfconsumption, animals and sale, particularly the bracts	Yields more than the hybrid in grain and straw	The bracts are thicker and have less value
	4		VA8H	2.5 ha	2.5 t/ha	Polyculture	To eat	The characteristics of the ear: the thin cob and the large grain	
			Chalqueño Azul	2000 m ²	0.5 t	Polyculture	To eat, for selfconsumption		
	5		Chalqueño Crema		4 t	Monoculture	For sale	The ear is very large, 25-30 cm, and the bracts are large and of perfect quality	The plant is tall and lodges
			Niebla		6-7 t/ha	Monoculture	For sale	Not susceptible to <i>muñeco</i>	Depends on fertilizer
	6		HS-8		First time	Monoculture	For sale	Not susceptible to <i>muñeco</i>	The plant is tall and lodges
			Chalqueño Crema		4 t/ha	Monoculture	Don't need to buy seed	Large grain and thin cob	
			Chalqueño Amarillo	0.250 ha		Monoculture	Don't need to buy seed	Large grain and thin cob	
	7		Chalqueño Blanco	7-5 ha		Monoculture	Don't need to buy seed	Large grain and thin cob	
			Chalqueño Azul	1 ha	4 t/ha	Polyculture	Don't need to buy seed	Large grain and thin cob	
			Ancho	1 ha		Monoculture			
			Niebla	2 ha	8 t/ha	Monoculture	Yields more than the landraces	Has demand for tortillas; fertilizers subsidized by SEDAGRO (government agency)	
	8	Chalqueño	6-7 ha		Monoculture	For sale	Has a good price, good quality		

Morelos			Crema					<i>elotes</i> (young corn eaten on the cob)	
		9	Cónico amarillo	0.5 ha	2 t/ha	Polyculture	Because of tradition	Is nutritious for animals	
			Cónico blanco	2.5 ha	2-2.5 t/ha	Polyculture	Because of tradition	The food has a better taste	
	Rainfed	10	Cónico amarillo	3 ha	3 t/ha	Monoculture	For the animals and sale	It is nutritious for the animals, produces straw and has a short cycle (<i>es violento</i>)	It often comes <i>picado</i> (with weevil damage) from the field
			Cónico blanco	3 ha	3 t/ha	Monoculture	For sale	El rendimiento. Mejor harina, el grano es menos duro que el híbrido y tiene mejor sabor	Weevil damage in storage
		11	Ancho	2000 m	0.5 t/ha	Monoculture	For selfconsumption and sale	The food has a better taste and smell	Lodges
			Hybrid 515	4 ha	5-6 t/ha	Monoculture	Sale	Yields more	
			Hybrid 516	4 ha	5-6 t/ha	Monoculture	Sale	Yields more	
		12	Ancho	1 ha		Monoculture	Because of tradition	To eat	

Anexo 2.3- Farmer's criteria for selecting ears and seeds for sowing

State	Agroeco-system	Farmer	Cultivar	Timing of selection	Criteria for ear selection	Criteria for seed kernel selection	Other criteria
Mexico State	Residual humidity	1	T Ancho	During the whole cycle (field and storage)	The largest	Kernels from the middle part of the ear Wide kernel	Robust plants, "cuatera" (with twins = two ears) Husk bracts flexible
			Chalqueño Azul		The largest	Kernels from the middle part of the ear Only blue kernels	
			Pepitilla			Kernels from the middle part of the ear	
		2	T Ancho	During dehusking	Healthy, no decay	El grano ancho y vidrioso	Husk bracts large and flexible With silk (for sale)
			Chalqueño Azul		Healthy, no decay	The darkest-colored kernels	
		3	Chalqueño Crema	In February during dehusking	The largest and healthiest	Large kernel	Husk bracts flexible
			Chalqueño Azul		The largest and healthiest, only blue kernels	Large kernel	Husk bracts flexible
			T Ancho		The largest and healthiest	Wide kernel	Husk bracts flexible
		4	VA8H	During dehusking the seed maize ears are separated; the seeds are selected again two months before planting	Large and healthy ears; 8-10 rows of kernel; straight rows	Wide and large kernel No descabezado	
			Chalqueño Azul		La mazorca que da mas grande la hoja		
		5	Chalqueño Crema	After cutting and building sheafs for drying	Large and healthy ears Straight rows	Large, well-formed kernels No descabezado	
		6	Chalqueño Crema	In February	Healthy, many, straight rows, thin cob	Large kernels from the middle part of the ear	Husk purple or white
	Chalqueño Amarillo						
	Chalqueño Blanco						
	7	Chalqueño azul	In February				
		Ancho					
	8	Chalqueño Crema		Large ears, thin cob	Large and white kernels		
	Rainfed	9	Cónico amarillo	During harvest some ears are selected		Only kernels from the middle part of the ear	
Cónico blanco							
10		Cónico amarillo	In the field during growth, at harvest and at home	Cuateras (twins, with two ears) 14-16 rows, not more because then the kernels become smaller	Large and wide kernel Yellow and shiny No descabezado	The plant with the typical color and deep roots	
		Cónico blanco			Large and wide kernel White and shiny		

						No descabezado	
Morelos		11	Ancho	From November to February	Large and healthy	Wide and white kernels	
		12	Ancho	From November to February	Large and healthy	Wide and white kernels	

Anexo 2.4.- Management of seed planting.

Coa is the traditional Mesoamerican planting stick. Generally, several seeds are dropped into every hole (*golpe*) made with the planting stick, and form a group of a few individuals, called *mata*. *Muñeco* is a malformation of the reproductive organs – fasciculated ears.

State	Agroeco-system	Farmer	Selection of planting date	Planting date	Planting instruments	Planting depth	Does the number of seeds per seed hole vary between cultivars?	Number of seeds per seed hole ("golpe")	Distance between rows	Distance between groups of plants ("matas")	Observations
Mexico State	Residual humidity	1		June	"Coa" and spade		No				
		2	Not more than 3-4 days after full moon and rain. The maize grows better if it is sown at full moon.	April 15	Coa	In dry soil one looks for humidity, generally at about 15 cm depth. In humid soil: 10 cm	No	2-3 seed kernels	1 m	70 cm	
		3	4-5 days after full moon, so the seeds are not attacked by worms. One never plants on a new moon. A waxing moon (first quarter) brings wind and waning moon (third quarter) brings rain.	April 15	Coa	One looks for humidity, it varies between fields. Generally between 12 and 15 cm.	No	2-3 seeds	90 cm	55-60 cm	
		4	His father recommended planting on full moon, but he doesn't do that because of his outside work; he usually plants on a fixed date	March 30	Coa	10 cm	No	3 seeds	90 cm	80 cm	
		5	Only guided by the date and the planting site.	Between April 15 and May 1	Seed drill	6-10 cm	No	2 seeds	87 cm	75 cm	The lower-lying fields are drier, and have strong problems with "muñeco", fasciculated ears. The farmer has experimented with planting dates and has

											observed that late planting lessens the problem.
		6	At full moon	Between April and May	Spade, coa or seed drill	Manual planting: one looks for the depth of the humidity – 10 cm or a bit more; seed drill: 10 cm	No	3 seeds	85 cm	50 cm	
		7	The date and the site of the field.	From the beginning of April to May	Seed drill	6-10 cm	No	2 seeds	87 cm	75 cm	In the colder sites you plant in April and in the warmer sites until May.
		8	The best is at full moon.	Beginning of April	Coa	10 cm	No	3 seeds	80 cm	80-90 cm	
		9	Onset of rains	Beginning of May	Coa	15 cm	No	2-3 seeds	80 cm	40-45 cm	
Morelos	Rainfed	10	Onset of rains to take advantage of the humidity	From the beginning of May to May 13	Seed drill	10 cm so the wind doesn't topple the plants.	No	2 seeds	80 cm	40 cm	
		11	The date	June 15-25	The seeds are dropped into the planting hole and are covered with the foot.	3 cm	No	3 seeds	90 cm	40 cm	
		12			The seeds are dropped and are covered with the foot.						

Anexo 2.5.- Farmer observations on germination and emergence

State	Agroeco-system	Farmer	Do problems exist?	What are they?	What is the cause?	Does it apply equally to all cultivars?	Have you noted differences in emergence over time?	What percentage does not emerge?	Measures taken	Influence of climate on germination and emergence
Mexico State	Residual humidity	1	Yes	*Squirrels *Dry soil *The potential of the seed to germinate	Deficient farmwork	Yes	No	10%	Replanting Integrate plant stover in soil Plow Flatten ("planchar") the soil; from February to March (before planting) the soil is flattened with a wooden beam, in order to conserve the soil humidity	
		2	Sometimes	*Gophers *Soil type and its humidity		Yes	No		Reseeding with vetch (<i>Vicia sativa</i>)	
		3	Sometimes	*Gophers, rats *Lack of humidity *The farmhand		Yes		10%	Reseeding with about ¼ kg	
		4	No		The seeds are well-selected			It depends on the weather of the year	*Good seed selection *Plant at the correct time	If there is too much sun the soil dries out and the seeds don't germinate well.
		5	Yes	Compacted or dry soil Broken seed kernels	Too much rain Drought The machinery	Yes, for the effects of humidity. But the machines break the landrace seeds more because they are larger.	No		Replant Change machinery to a pneumatic mechanism	No
		6	Yes	Dry soil	Drought	No. The landrace resists	No	Hybrid 10 a	*Reseed *Plow and plant wheat	No

						droughts or a late rainy season better than the hybrids		15%	or oats *Conserve humidity from the harvest of the last year to the soil preparation before planting *This year subsoil plowing was tried as an experiment to improve conservation of soil humidity	
		7	Sometimes	Dry soil	Deficient farmwork	No. It affects the hybrids more.	No	Up to 20%	Plow and plant wheat or oats for forage	No
		8	No		The seeds are well-selected		No			
	Rainfed	9	Yes	*Ferrets, squirrels	Before they were killed with shotguns, but now the police doesn't allow that	Yes	No	5%	*Reseed with 3 kg	No
		10	No		*Good seed selection *No soil turnover after the rainy season				*Avoid practices that dry out the soil (harrowing and plowing after the rains)	En los terrenos más fríos se da mejor el maíz
		11	No	*Lack of rain *Gophers		Yes	No		*There is no reseeded as the appropriate date has passed	
		12	Yes	*Bad seed selection *Gophers *Stony terrain *Compacted soil or formation of crusts	*The peak of the kernel breaks, the seed goes bad and the germinated plant is yellow *If the soil is stony, sometimes the plants cannot emerge because of the stones. If there is too much rain, the soils compacts and the seeds don't germinate. Also, sometimes a crust forms in the upper 5 cm, and impedes emergence.	Yes	No	10%	Eight days after planting, the fields are inspected; in places where maize has not emerged the upper 5 cm are loosened with a machete to break the crust that had prevented the emergence of the maize	
		Morelos								

Anexo 2.6 - Seed storage

State	Agroecosystem	Farmer	Storage site	Storage type	Management and preservation of the seeds	Are there storage problems?	Cuales son	Observaciones
Mexico State	Residual humidity	1	<i>Tzencaltl</i> (special maize storage bin)	Barrels	Does not sheaf. The whole ears (with bracts) are stored; the farmer (who studied agriculture) places branches of <i>Eucalyptus</i> beneath the stored ears. He selects the seed ears, degrades them and stores them in metal barrels, burning a candle in them in order to eliminate oxygen.	Yes	Rats	
		2	A room in the house	Sacks	Does not sheaf the maize. The maize is stored as whole ears.	Yes	Weevils	
		3	A room in the house	Barrels	The ears are dried in sheafs in the field. The maize is stored in its ears; the seed maize is conserved in barrels.	Yes	Weevils	
		4	<i>Tzencaltl</i> (special maize storage bin)	Metal barrels	Harvests at full moon. The ears are dried in sheafs in the field. The maize is conserved as whole ears. If it is degrading, the grains are stored in metal barrels.	Yes	Squirrels, mice and very few weevils	
		5	<i>Tzencaltl</i> (special maize storage bin)	Sacks	The ears are dried in sheafs in the field. The maize is stored without bracts. When it is degrading for seed in February or March, it is stored in sacks.	Yes	Weevils	This farmers uses the bracts as payment for harvest.
		6	A room in the house	Metal barrels	Uses sheafs. Combats storage pests with commercial pesticide (see text).	Yes	Weevils	
		7	A room in the house	Metal barrels	Uses sheafs. Combats storage pests with commercial pesticide (see text).	Yes	Weevils	
	8	A room in the house	Metal barrels	Uses sheafs. Combats storage pests with commercial pesticide (see text).	Yes	Weevils		
	Rainfed	9	<i>Tzencaltl</i> (special maize storage bin)	Metal barrels	Uses sheafs. Combats storage pests with commercial pesticide (see text).	Yes	Weevils	
		10	A room in the house	Sacks	Does not use sheafs. Takes the ears to his house and dries them outside for about 20 days. Then he debracts and stores the ears in his house. Insects are removed manually and damaged ears are fed to animals.	Yes	Weevils	
Morelos		11	A room in the house	Metal barrels	Does not use sheafs. Combats storage pests with commercial pesticide (see text).	Yes	Weevils	
		12	A room in the house	Sacks	Does not use sheafs. Keeps seed in sacks and treats them with methyl bromide.	Yes	Weevils	

Capítulo 3 Adaptación morfológica de plántulas de maíz

Ancho traslocado al agroecosistema de humedad residual

Anexo 3.1. Variables adicionales de vigor en plántulas de maíz del Estado de México y Morelos, en condiciones de ambiente controlado: profundidad de siembra (5 cm, 15 cm y 20 cm) y temperatura (15 y 21)

Fuentes de variación		Altura de Planta	Longitud de Coleóptilo	Longitud de Mesocótilo	Longitud de Raíz	Volumen de Raíz	Área Foliar	Peso seco					
								Raíz	Tallo	Hojas	Mesocótilo	Coleóptilo	Vástago
Genotipo	Conico	24.2 _c	3.76 _a	7.16 _a	23.96 _{bc}	1.48 _b	25.4 _d	0.20 _c	0.018 _e	0.047 _c	0.028 _b	0.025 _{ed}	0.025 _c
	CHalqueño	29.0 _a	3.75 _a	7.46 _a	23.08 _c	2.03 _a	31.8 _c	0.22 _c	0.023 _d	0.045 _c	0.031 _a	0.028 _d	0.038 _b
	HS-2	20.3 _d	3.73 _a	5.28 _b	20.62 _d	0.91 _c	20.5 _e	0.08 _d	0.021 _{ed}	0.036 _d	0.018 _c	0.024 _e	0.020 _c
	Ancho Traslocado cuj	30.4 _a	3.64 _a	4.96 _b	27.00 _a	2.15 _a	46.7 _a	0.31 _b	0.048 _a	0.089 _a	0.027 _b	0.042 _b	0.053 _a
	Ancho Traslocado cue	26.2 _b	3.85 _a	4.41 _c	25.30 _{ba}	2.13 _a	45.6 _a	0.37 _a	0.035 _b	0.060 _b	0.032 _a	0.053 _a	0.046 _{ba}
	Ancho de Morelos	27.1 _b	3.81 _a	3.06 _d	27.20 _a	2.08 _a	38.1 _b	0.30 _b	0.030 _c	0.062 _a	0.017 _c	0.035 _c	0.039 _b
Profundidad	5 cm	35.0 _b	3.90 _b	4.80 _b	24.08 _b	1.47 _b	34.6 _a	0.29 _a	0.027 _b	0.064 _a	0.023 _c	0.026 _c	0.044 _a
	15 cm	36.4 _a	4.38 _a	5.73 _a	20.87 _c	1.45 _b	32.9 _b	0.18 _c	0.032 _a	0.044 _b	0.026 _b	0.030 _b	0.029 _a
	20 cm	10.5 _c	3.11 _c	5.86 _a	27.94 _a	2.37 _a	nd	0.26 _b	nd	nd	0.028 _a	0.044 _a	0.040 _a
Temperatura	15 °C	20.2 ₀ _b	3.82 _a	5.47 _a	25.33 _a	1.26 _b	25.0 _b	0.12 _b	0.021 _b	0.051 _b	0.030 _a	0.033 _b	0.043 _a
	21 °C	31.8 ₁ _a	3.69 _b	5.48 _a	23.61 _b	2.17 _a	44.2 _a	0.37 _a	0.034 _a	0.060 _a	0.022 _b	0.035 _a	0.030 _b
Media General		26.1	3.76	5.48	24.48	1.79	33.9	0.25	0.029	0.056	0.026	0.034	0.036
C.V.		8.89	10.90	11.45	12.29	11.45	7.70	18.3	12.09	11.24	14.32	14.08	25.51
R ²		0.98	0.87	0.92	0.75	0.96	0.97	0.95	0.95	0.96	0.87	0.94	0.866

Las letras a, b, c y d indican los tratamientos estadísticamente similares

Anexo 3.2. Variables adicionales de vigor en plántulas de maíz del Estado de México y Morelos, en condiciones de ambiente controlado: profundidad de siembra (5 cm, 15 cm y 20 cm) y temperatura (15 y 21)

Fuentes de variación			Altura de Planta	Longitud de Coleóptilo	Longitud de Mesocótilo	Longitud de Raíz	Volumen de Raíz	Área Foliar	Peso seco					
Tem.	Pr of.	Gen.							Raíz	Tallo	Hoja	Mesocótilo	Coleóptilo	Vástago
15 °C (1)	5 c m (1)	7285 (1)	24.780 j	3.1500 hjki	4.9833 ilfhkgj	24.700 eidhgcf	nd	19.448 ljk	0.07996 npmo	0.021250 hifg	0.03957 hfg	0.02320 lhknjim	0.023747 qlonpm	0.0446 fbedcg
		6582 (4)	28.250 jgifh	5.0167 bac	7.5833 bdc	26.933 ebdhgcf	1.7000 hifgej	16.121 lk	0.10372 nptomk	0.014927 hig	0.03462 hgi	0.04140 ba	0.029264 ilohngkmj	nd
		HS-2 (3)	22.395 jk	4.1333 ehdgcf	4.6167 ilmhkj	21.467 ilkhgjf	0.9000 nnlmo	16.488 lk	0.03774 p	0.012450 hi	0.04593 dfge	0.0155 lponm	0.013865 q	nd
		7199 (6)	31.533 gifh	2.4333 ljk	3.6000 plmno	28.233 ebdacf	nd	57.218 b	0.07375 npo	0.045283 bc	0.13992 a	0.03480 ebdacf	0.0362 iehgkj	nd
		7154 (5)	32.063 gfh	4.1000 ehdgcf	1.9750 qr	24.133 eidhgcf	1.4333 higkj	31.086 hg	0.08752 nptoml	0.018436 hig	0.06552 c	0.02352 lhkgjim	0.032419 ilhgkmj	nd
		7295 (2)	27.768 jgih	2.0200 l	1.5400 r	28.960 ebdac	1.3800 hilgkj	40.424 fe	0.05905 po	0.037200 cd	0.05872 dfce	0.02097 lpkonjim	0.018476 qop	nd
	15 c m (2)	7285 (1)	27.900 jgifh	5.0333 bac	8.9500 ba	28.167 ebdagcf	0.7500 nmo	24.382 hji	0.10655 jnpmol	0.018300 hig	0.04140 hfge	0.03655 bdac	0.025076 qlonpkmj	0.047533 bedc
		6582 (4)	25.663 ji	4.3000 ebdgcf	8.3667 ba	21.307 ilkhgjf	1.6200 hifgej	25.401 hji	0.17200 jninglhk	0.018500 hig	0.01990 i	0.03153 dgcfeh	0.025924 iqlonpkmj	0.045205 fbedc
		HS-2 (3)	26.300 jih	5.4333 a	6.4667 efdc	19.683 ilkhj	1.0250 nlmk	27.610 hgi	0.07205 npo	0.017652 hig	0.03662 hgi	0.02229 lhkonjim	0.03182 ilhngkmj	0.0416 fedg
		7199 (6)	32.620 gf	5.3250 ba	5.4500 iefhg	28.540 ebdacf	1.7400 hifge	34.300 fg	0.23163 figh	nd	0.03480 hgi	0.03495 ebdac	0.048225 ed	0.0241 fedg
		7154 (5)	23.887 j	4.6500 ebdac	4.6750 ilmhkgj	20.140 ilkhj	1.3250 hilkj	24.473 hji	0.23128 figh	0.010600 i	0.04082 hfg	0.04230 a	0.053513 cd	0.0193 feg
		7295 (2)	33.825 ef	4.7000 bdac	2.1500 pqro	25.325 eidhgcf	1.2500 ilmkj	20.770 jki	0.22735 figh	nd	nd	0.02548 hkgjif	0.047513 edf	0.015119 fg
	20 c m (3)	7285 (1)	10.467 lomn	3.5833 hgif	9.2167 a	23.450 eidhgjf	0.9000 nlmo	nd	0.13083 jnpimolh k	nd	nd	0.03711 bdac	0.023458 qonpm	0.089775 a
		6582 (4)	5.680 on	3.3400 hjgi	7.6400 bdc	26.560 edhgcf	1.2000 lmkj	nd	0.10153 pnmolk	nd	nd	0.03068 ehdgf	0.038268 ehgf	0.07303 bac
		HS-2 (3)	4.768 o	2.3467 ljk	5.1833 iefhkgj	24.567 eidhgcf	0.5000 no	nd	0.04136 p	nd	nd	0.02990 ehdgif	0.023917 qlonpkm	0.042875 fedcg
		7199 (6)	7.733 omn	3.5167 hgif	5.3833 iefhg	29.817 bdac	1.5250 hifgkj	nd	0.19097 jfimglhk	nd	nd	0.03721 bdac	0.071567 b	0.035355 fedg
		7154 (5)	8.300 omn	3.2500 hjki	3.8167 lmnkj	27.783 ebdagcf	1.8000 hfge	nd	0.21735 jfigh	nd	nd	0.04046 bac	0.037035 iehgjf	0.029668 fedg
		7295	8.025	2.0250	2.0500	28.133	1.4500	nd	0.15407	nd	nd	0.0146	0.026025	0.028263

		(2)	omn	l	pqr	ebdagcf	hifgkj		jnimolhk		ponm	iqlohnpmkj	fedg	
21 °C (2)	5 c m (1)	7285 (1)	39.960 d	4.7200 bdac	5.9667 efhg	21.833 eilkhgjf	1.6500 hifgej	32.124 hg	0.48139 cd	0.017860 hig	0.06138 dc	0.01845 lpkonjm	0.02106 qonpm	nd
		6582 (4)	46.720 bc	4.4200 ebdacf	6.6000 edc	21.980 eilkhgjf	1.6750 hifgej	47.305 ced	0.49558 cbd	0.023780 hfg	0.06056 dce	0.02550 hkgjif	0.02372 qlonpm	nd
		HS-2 (3)	28.100 jgifh	2.7750 ljki	3.7000 lmnko	15.425 l	0.4250 o	11.979 l	0.12318 jnpimolk	0.024367 bcd	0.02433 hi	0.0137 po	0.01615 qp	nd
		7199 (6)	51.520 ba	4.8000 bac	5.4833 iefhg	24.233 eidhgcf	1.7167 hifgej	50.315 cbd	0.53285 cb	0.037380 cd	0.09284 b	0.02430 lhkgjif	0.03774 iehgf	nd
		7154 (5)	48.275 bac	4.4000 ebdcf	5.8250 efhg	29.500 bdac	1.9750 dfce	75.934 a	0.76348 a	0.053025 ba	0.11085 b	0.02072 lpkonjm	0.046275 edf	nd
		7295 (2)	39.483 ed	4.0333 ehdgcf	4.0000 ilmnkj	23.050 eidkhgjf	1.8833 dfge	43.475 ed	0.60083 b	0.024700 efg	0.06190 dc	0.01845 lpkonjm	0.026183 ilohnpmkj	nd
	15 c m (2)	7285 (1)	38.867 ed	3.6500 ehgif	8.5000 ba	16.700 lkj	1.4750 hifgkj	26.661 hjgi	0.18695 jfimglhk	0.016990 hig	0.03716 hgi	0.03010 ehdgif	0.019833 qonp	0.0522 bdc
		6582 (4)	53.580 a	3.1200 hjki	6.4800 efdc	16.120 lk	1.8400 hdfge	46.233 ed	0.27980 fg	0.035958 ecd	0.05889 dfce	0.02788 ehdgif	0.02632 ilohnpmkj	0.028567 fedg
		HS-2 (3)	26.700 jgih	3.7400 ehdgif	5.3400 iefhgj	15.980 lk	0.6200 no	27.945 hgi	0.06826 npo	0.013333 hig	0.03075 hgi	0.0132 po	0.01942 qop	0.020847 feg
		7199 (6)	51.683 ba	3.7000 ehdgif	3.1667 pqmno	18.200 ilkj	1.4500 hifgkj	46.110 ed	0.29727 fe	0.060027 a	0.07163 c	0.01652 lpkonm	0.021188 qonpm	nd
		7154 (5)	44.120 dc	4.0400 ehdgcf	3.9400 ilmnkj	18.680 ilkj	2.1000 dce	50.879 cbd	0.21226 jfighk	0.043950 bc	0.01922 i	0.02795 ehdgif	0.0389 egf	0.0135 g
		7295 (2)	50.000 ba	5.3000 ba	3.0000 pqrno	20.963 ilkhgj	2.4750 c	54.921 cb	0.14025 jnpimolh k	0.032187 efd	0.06706 c	0.0153 lponm	0.022338 qonpm	0.01345 g
	20 c m (3)	7285 (1)	11.680 lm	2.3200 ljk	5.5600 efhg	26.517 edhgcfcb b	2.3333 dc	nd	0.19712 jfiglhk	nd	nd	0.02686 ehgjif	0.03682 iehgjif	0.07508 ba
		6582 (4)	16.425 lk	2.3833 ljk	7.8500 bac	24.867 eidhgcf	3.5167 b	nd	0.23750 fgh	nd	nd	0.03264 ebdagcf	0.026567 ilohnpmkj	0.03225 fedg
		HS-2 (3)	14.783 l	3.6667 ehgif	5.8833 efhg	24.133 eidhgcf	1.7183 hifgej	nd	0.17836 jnimglhk	nd	nd	0.0140 pon	0.035917 ilhkgjif	0.02784 fedg
		7199 (6)	12.850 lm	2.2500 lk	6.1833 efdgc	33.867 ba	4.0633 a	nd	0.40258 ed	nd	nd	0.02233 lhkonjm	0.039883 egf	0.027385 fedg
		7154 (5)	12.013 lm	3.2333 hjki	5.9000 efhg	31.017 bac	3.3633 b	nd	0.80190 a	nd	nd	0.03513 ebdac	0.102067 a	0.0243 fedg
		7295 (2)	11.338 lmn	4.9517 bac	4.6967 ilmhkgj	34.400 a	3.6167 ba	nd	0.50733 cbd	nd	nd	0.01646 lpkonm	0.063833 cb	0.01912 feg
	Media General		26.17	3.76	5.48	24.48	1.79	33.94	0.25	0.0296	0.0567	0.0262	0.0346	0.0367
	C.V.		8.89	10.90	11.45	12.29	11.45	7.70	18.30	12.09	11.24	14.32	14.08	25.51
	R²		0.98	0.87	0.92	0.75	0.96	0.97	0.95	0.95	0.96	0.87	0.94	0.866

Las letras a, b, c, d... y r indican los tratamientos estadísticamente similares