



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA**

## **LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE MAÍZ ANCHO EN MÉXICO**

**JOSÉ ALBERTO AGUILAR JUÁREZ**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

2016

La presente tesis titulada: **LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE MAÍZ ANCHO EN MÉXICO**, realizada por el alumno: **JOSÉ ALBERTO AGUILAR JUÁREZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**  
**GENÉTICA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



---

**DR. FERNANDO CASTILLO GONZÁLEZ**

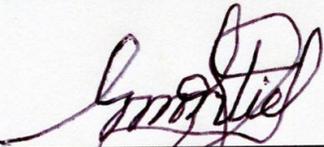
ASESOR



---

**DR. RAFAEL ÁNGEL DEL SAGRADO CORAZÓN ORTEGA PACZKA**

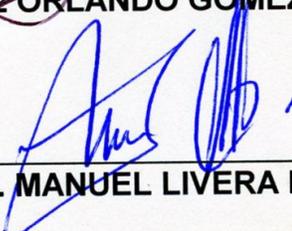
ASESOR



---

**DR. NOEL ORLANDO GÓMEZ MONTIEL**

ASESOR



---

**DR. MANUEL LIVERA MUÑOZ**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2016

## DEDICATORIA

Con profundo Amor y Agradecimiento a todas las personas que me brindaron su apoyo, amistad y ayuda en estos años de mi vida, principalmente a:

A mi amada esposa Jessica Jazmín González Regalado,

A mi hija María Fernanda,

A mis padres,

A mis hermanos,

A mis suegros,

A mis cuñadas-cuñados,

A mis sobrinos

y

A todos mis amigos y profesores que han dejado algo en mí para la conclusión de esta aspiración.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto fue gracias al apoyo de muchas personas que me brindaron su ayuda de muchas formas que van desde apoyo económico, profesional y personal. A todos ellos Gracias:

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

A mi consejo particular por sus asesorías, sugerencias y revisiones durante esta investigación:

El Dr. Fernando Castillo González, mi consejero, por brindarme su apoyo, orientación y conocimientos durante el desarrollo de la investigación.

El Dr. Rafael Ortega Paczka profesor-investigador de la Universidad Autónoma Chapingo, por su guía, consejo y apoyo en todos mi etapa profesional.

El Dr. Noel Orlando Gómez Montiel y el Dr. Manuel Livera Muñoz por todo su apoyo y consejos en esta etapa.

A mi esposa Jessica Jazmín González Regalado que me a poyo en cada uno de los pasos de esta investigación, siempre con gran paciencia y comprensión. Le agradezco su apoyo amor y compañía.

A la Dra. Heike Vibrans Lindemann por su incondicional apoyo en este proyecto y al Dr. Lauro López Mata por sus consejos y guía en esta investigación

A profesores-investigadores del Colegio de Postgraduados por su apoyo en el préstamo de equipo el cuál facilitó la fase de campo. M en C. Antonio García

Esteva. Así como a M. en C. Teresa Rodríguez González y Dr. José Alberto Escalante Estrada quienes me apoyaron con material, consejos y guía.

A Verónica López y Dalila 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: Ing. Antonio Ramírez, Agustín Cerón Vázquez, Doña Mary y todos los trabajadores del Colegio de Postgraduados que me apoyaron. En la Universidad Autónoma Chapingo a Marcos Moreno Moreno y todo el equipo del trabajo del Dr. Ortega Paczka. En el INIFAP campus Iguala a todos los miembros del equipo de trabajo del Dr. Noel Orlando Gómez Montiel.

Al Ing. Gerardo Casales quien me ayudo con las colectas de maíz Ancho en Morelos.

A Ildelfonso Ronquillo Cedillo, Emmanuel Parra Aguilar, Jesús Ernesto Pineda Aguilar, Joel Esteban Pineda Aguilar, Josué Enrique Pineda Aguilar por su apoyo en el trabajo de campo. Y a Javier Alfonso Parra Aguilar, Julio Cesar Parra Aguilar, Jaqueline Thelma Parra Aguilar, Emmanuel Parra Aguilar, Elizabeth Martínez Trejo, Julio Alberto González Regalado, Diana Laura González Regalado y Erica Julisa González Regalado, y por ser los niños oficiales en este largo camino.

Y a todos aquellos que siempre me apoyaron y por mi despiste no incluí aquí, les pido no se sientan ofendidos realmente les agradezco su ayuda.

## ÍNDICE

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....  | <b>vii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....  | <b>x</b>    |
| <b>RESUMEN</b> .....  | <b>xiii</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>xiv</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....   | <b>1</b>    |
| <b>CAPÍTULO I. BIOGEOGRAFÍA Y NICHOS ECOLÓGICOS DEL MAÍZ ANCHO EN MÉXICO</b>                      |             |
| RESUMEN.....  | 5           |
| INTRODUCCIÓN.....   | 6           |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 9           |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 12          |
| CONCLUSIONES .....  | 24          |
| LITERATURA CITADA .....   | 25          |
| <b>CAPÍTULO II. VARIANTES REGIONALES, SUB-RAZAS Y COLECCIÓN CENTRAL DEL MAÍZ ANCHO EN MÉXICO.</b> |             |
| RESUMEN.....  | 31          |
| INTRODUCCIÓN.....   | 32          |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 35          |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 39          |
| CONCLUSIONES.....   | 56          |
| LITERATURA CITADA.....  | 57          |

### **CAPÍTULO III. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE MAÍCES ANCHOS DE MÉXICO.**

|  |           |
|--|-----------|
| RESUMEN.....   | 62        |
| INTRODUCCIÓN.....  | 63        |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 65        |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 67        |
| CONCLUSIONES.....  | 74        |
| LITERATURA CITADA.....   | 75        |
| <b>CAPÍTULO IV. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE MAÍCES ANCHOS EN DOS AMBIENTES CONTRASTANTES</b> |           |
| RESUMEN.....   | 78        |
| INTRODUCCIÓN.....  | 79        |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 81        |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 83        |
| CONCLUSIONES.....  | 92        |
| LITERATURA CITADA.....   | 93        |
| <b>DISCUSIÓN GENERAL.....</b>  | <b>96</b> |
| <b>CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>   | <b>98</b> |
| <b>LITERATURA GENERAL.....</b>   | <b>99</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

### CAPÍTULO I

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Cuadro 1</b> | Contribución de las variables en los modelos de cada periodo expresado en porcentaje..... | 13 |
|-----------------|---|----|

### CAPÍTULO II

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Cuadro 2</b> | Caracteres por grupos de los ensayos de Montecillos y Teloloapan 2014. Tomados de acuerdo al método de IBPGR (1991).....   | 36 |
| <b>Cuadro 3</b> | Valores propios con su proporción de la varianza total, vectores propios y la proporción acumulativa de la variación explicada por cada variable en los primeros tres componentes principales de la caracterización de 95 colectas de maíz Ancho, Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero 2014..... | 40 |
| <b>Cuadro 4</b> | Vectores propios de los tres primeros componentes principales del análisis para 95 colectas de maíz Ancho .....  | 44 |
| <b>Cuadro 5</b> | Promedio de 13 caracteres de nueve grupos identificados en 95 colectas de maíz Ancho.....  | 48 |

### CAPÍTULO III

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Cuadro 1</b> | Promedios para 15 caracteres de los grupos evaluados que integran la diversidad de maíz Ancho en México. Evaluados en Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero en el 2014..... | 68 |
| <b>Cuadro 2</b> | Comportamiento medio de colectas de maíz Ancho sobresalientes en 15 caracteres agronómicos evaluados en Teloloapan, Guerrero y Monecillos, Estado de México en el 2014.....                | 70 |

## CAPÍTULO IV

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1</b> Poblaciones de maíz Ancho utilizadas en el estudio y la descripción de su ambiente de origen.....  | 82 |
| <b>Cuadro 2</b> Altura de planta (cm), Índice de Área Foliar (IAF), Duración del Área Foliar Total (DAFT, días), Floración Masculina (M, días) y Femenina (F, días) en genotipos de maíz y localidades, Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero, 2014.....              | 86 |
| <b>Cuadro 3</b> Altura de planta (cm), Índice de Área Foliar (IAF), Duración del Área Foliar Total (DAFT, días), Floración Masculina (M, días) y Femenina (F, días) en genotipos de maíz en función del localidades, Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero, 2014..... | 86 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1** Característica operativa relativa (ROC) para el modelo del periodo uno a la derecha y para el modelo del periodo dos a la izquierda. ....12
- Figura 2** Modelo de distribución actual y potencial del maíz Ancho. Mapa superior es el moldeo para el Periodo 1 (1950-1990) y el mapa inferior el modelo para el Periodo 2 (1991-2010).....15
- Figura 3** Graficas que presentan la distribución y abundancia de las colectas de maíz Ancho en a) estados, b) altitud, c) precipitación anual, d) temperatura media anual y e) tipos de clima según García (2005).....17
- Figura 4** Zonas geográficas de distribución del maíz Ancho en México, con información del modelo digital de elevación y provincias fisiográficas de México, (INEGI, 2013; Cervantes et al., 1992).....19
- Figura 5** Graficas que presentan la distribución y abundancia por estado de las colectas de maíz Ancho en altitud (superior), precipitación anual (central izquierda), temperatura media anual (central derecha) y tipos de clima según García (2005) (inferior).....21
- Figura 6** Mapa con los siete nichos propuestos, y su distribución en los tipos climas en México, según García (2005).....23

### CAPÍTULO II

- Figura 1** Gráfica de correlaciones de las variables originales en el primero y segundo componente principal, obtenidos a partir de datos morfológicos de 95 colectas de maíz Ancho caracterizadas en Montecillos, Estado de México y Teloloapan Guerrero.....42
- Figura 2** Gráfica de correlaciones de las variables originales en el primer y tercer componente principal, obtenidos a partir de datos morfológicos de 95 colectas de maíz Ancho caracterizadas en Montecillos, Estado de México y Teloloapan Guerrero.....42
- Figura 3** Varianza explicada por cada componente principal.....44
- Figura 4** Dispersión de 95 colectas de maíz Acho con base en los dos primeros componentes principales del análisis de 13 variables de las caracterizaciones realizadas en Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero 2014.....45
- Figura 5** Colecta 7302, perteneciente al grupo de maíz Pepitilla.....46

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 6</b> Dendrograma de 95 colectas de maíz Ancho, basado en la media de 13 variables, según el análisis de agrupamiento UPGMA. Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero 2014.....  | 47 |
| <b>Figura 7</b> Colecta 2010-38-F, raza Conejo.....  | 48 |
| <b>Figura 8</b> Colecta 207150, Tipo Valles Altos de Ocho Hileras.....   | 48 |
| <b>Figura 9</b> Colecta 2010-100, grupo Ancho.....   | 49 |
| <b>Figura 10</b> Colecta Mich-01, grupo Maizón de Chinicuila.....  | 49 |
| <b>Figura 11</b> Colecta 2010-25, grupo Semi- Ancho azul.....  | 50 |
| <b>Figura 12</b> Colecta 2010-30, grupo Semi-Ancho amarillo.....   | 51 |
| <b>Figura 13</b> Colecta 2010-Oaxaca, Ancho-Bolita.....  | 51 |
| <b>Figura 14</b> Colecta 2010-40, Ancho típico de Guerrero.....  | 52 |
| <b>Figura 15</b> Distribución geográfica de los grupos de diversidad del maíz Ancho en México, con información del modelo digital de elevación y provincias fisiográficas de México, (INEGI, 1991; Cervantes <i>et al.</i> , 1992).....          | 53 |
| <b>Figura 16</b> Análisis de clúster de la colección central, donde se muestran los agrupamientos basados en 13 caracteres, según el método UPGM, de las colectas seleccionadas para representar la diversidad de 95 colectas de maíz Ancho..... | 55 |

### **CAPÍTULO III**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> Comportamiento Genotipo-Ambiente del rendimiento de 91 poblaciones de maíz Ancho..... | 73 |
|---|----|

### **CAPÍTULO IV**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Dinámica del Índice de Área Foliar y modelo ajustado en genotipo de maíz en Montecillos, Estado de México (derecha) y Teloloapan, Guerrero (izquierda.), 2014..... | 87 |
| <b>Figura 2</b> Dinámica de la Biomasa Total y modelo ajustado en genotipo de maíz en Teloloapan, Guerrero (izquierda.) y Montecillos, Estado de México (derecha.),2014.....       | 88 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3</b> Dinámica de la Tasa de Asimilación Neta y modelo ajustado en genotipo de maíz en Teloloapan, Guerrero (izquierda.) y Montecillos, Estado de México (derecha.), 2014.....        | 89 |
| <b>Figura 4</b> Dinámica de la Tasa de Crecimiento del cultivo y modelo ajustado en genotipo de maíz en Teloloapan, Guerrero (izquierda.) y Montecillos, Estado de México (derecha.), 2014..... | 90 |
| <b>Figura 5</b> Rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en Teloloapan, Guerrero y Montecillos, Estado de México, 2014.....   | 91 |

## LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE MAÍZ ANCHO EN MÉXICO

José Alberto Aguilar Juárez, M.C.  
Colegio de Postgraduados 2016

### RESUMEN

México es el centro de origen y diversificación del maíz, donde existe una vasta diversidad de formas biológicas que en parte se han intentado conocer y clasificar mediante numerosas investigaciones. Uno de los enfoques del estudio contempla estudiar la diversidad dentro de una raza, y sus variantes. Los esfuerzos se concentraron en los maíces del Bajío, Valles Altos y regiones tropicales de México. Los tipos Ancho se distribuyen en zonas de transición, las cuales han sido descuidadas. Este maíz actualmente está alcanzando altos precios en mercados especializados, porque con él se produce un pozole (platillo tradicional) de gran calidad. Estos precios incrementaron el interés de muchos productores en este maíz ocasionando una ampliación de su distribución. Diferentes estudios reportan poblaciones a nivel de raza que no habían sido descritas y sugieren que son el producto de la interacción del maíz Ancho con los maíces locales de la región. Debido a que la raza de maíz Ancho no ha sido descrita profundamente no se puede asegurar que sus variantes constituyan razas diferentes, ya que pueden ser sub razas del maíz Ancho. Este trabajo tuvo los objetivos de estudiar la diversidad de maíz tipo Ancho en cuanto a sus ambientes de cultivo, características morfológicas y respuestas agronómicas y fisiológicas; además de conocer las diferentes respuestas de estos maíces en dos condiciones ambientales contrastantes. La importancia de este estudio es de distintas índoles, por un lado, conocer la diversidad para un adecuado monitoreo y conservación, por otro, aprovechar esa diversidad en mejoramiento genético. La investigación se divide en cuatro capítulos: el primero analiza la biogeografía y nicho ecológico del maíz Ancho, el segundo devela la estructura de la diversidad morfológica de la raza. El capítulo tres y cuatro evalúan las respuestas agronómicas y fisiológicas, respectivamente.

**Palabras claves:** Maíces criollos, maíz Ancho, recursos fitogenéticos, biogeografía, variantes regionales, fisiología.

## GENETIC DIVERSITY OF ANCHO MAIZE IN MEXICO

José Alberto Aguilar Juárez, M.C.  
Colegio de Postgraduados 2016

### ABSTRACT

Mexico is the center of origin and diversification of maize, where there is a vast diversity of biological forms that have been tried partly know and classify by numerous investigations. One of the study approaches includes study the diversity within a race, and its variants. Efforts were concentrated on the maizes from Bajío, Valles Altos and tropical regions of Mexico. Ancho types are distributed in transition zones, which have been neglected. This maize now to reaching high prices in niche markets, because with him high pozole (traditional dish) quality. Prices increased the interest of many producers in this maize causing an expansion of its distribution. Different studies report population in race level that had not been described, and suggest that they are the product of interaction with local maize in the region. Due Ancho race has not been described deeply it can not ensure that its variants constitute different races, as they can be sub-races of Ancho maize. This work had the objectives to study the diversity of Ancho maize type in their growing environments, morphological, and agronomic and physiological responses; besides knowing the different responses of these maizes in two contrasting environmental conditions. The importance of this study is to meet diversity for proper monitoring and conservation, and to take advantage of this diversity in breeding. The research is divided into four chapters: the first analyzes the biogeography and ecological niche of Ancho maize, the second reveals the structure of the morphological diversity of race. Chapter three and four evaluate the agronomic and physiologies responses, respectively.

**Keywords:** native maize, maize Ancho, plant genetic resources, biogeography, Locales, physiology.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

México es uno de los centros de origen y diversificación de la agricultura (Vavilov, 1931) y en particular es el centro de origen y diversificación primaria del maíz (Kato *et al.*, 2009; Matsuoka *et al.*, 2002). Este grano básico, evoluciono bajo domesticación hace miles de años de selección por los antiguos pobladores de Mesoamérica, por lo tanto no solo es un cultivo de importancia agrícola, sino además tiene una importancia cultural y alimentaria (Mapes y Mera, 2009).

La gran diversificación del maíz en México se generó principalmente a tres factores; 1) la existencia de una gran cantidad de microambientes, que propicio la fijación de características particulares a las poblaciones de maíz de una región; 2) la influencia de los pobladores al aplicar la selección en los materiales de acuerdo a sus necesidades, costumbres y creencias; 3) la migración de los materiales, principalmente a causa del comercio, o intercambios de semillas por las diferentes culturas y/o habitantes de las regiones (Muñoz, 2005; Ortega, 2003).

La diversidad de maíz expresa un continuo morfológico, para su clasificación se han separado en diferentes, tipos característicos que se han descrito como razas y sub-razas. Entendiendo la categoría taxonómica raza como un conjunto de poblaciones con características en común que las distingue como grupo y las diferencia de otras poblaciones, con capacidad de transmitir dichas características a las siguientes generaciones y que ocupan un área ecológica específica (Ortega, 2013; Hernández y Alanís, 1970).

En México, se han realizado vastos esfuerzos para la clasificar la diversidad del maíz, que se pueden agrupar de la siguiente manera; 1) los orientados a realizar una clasificación racial, los cuales han recibido más atención, 2) los dirigidos a conocer la diversidad dentro de razas y 3) los enfocados a conocer la diversidad dentro de regiones ecológicas.

De los orientados a la clasificación racial, destacan los trabajos de Wellhausen *et al.*, (1951) que identificaron 25 razas, siete por definir y tres sub-razas basándose en caracteres morfológicos. Hernández y Alanís (1970) describieron cinco nuevas razas de la Sierra Madre Occidental del noroeste de México. Las descripciones

más recientes de nuevas razas de maíz fueron realizadas por Ortega (1985), Benz (1986), Sánchez (1989) y Ruiz *et al.*, (2008) quienes consideran 59 razas ordenadas en cuatro grupos y algunos subgrupos de acuerdo a la similitud de sus características morfológicas y climáticas del sitio de colecta; La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2010) reporta 59 razas originarias de México y 3 introducidas.

Los trabajos dirigidos a develar la diversidad dentro de razas han evidenciado el continuo morfológico del maíz, lo cual mejora la comprensión del parentesco en las poblaciones nativas, así como el conocimiento de la diversidad actual de poblaciones en peligro de extinción o en constante erosión genética (Aguilar *et al.*, 2006). Dentro de estos trabajos destacan Caballero y Cervantes (1990) en maíces Tuxpeños, Silva (1992) en Cónicos, Herrera *et al.* (2000), Romero *et al.* (2002) y Herrera *et al.* (2004) en Chalqueños y López *et al.* (1995), Rice (2004) y Aguilar *et al.* (2006) en maíz Jala.

Dentro de las investigaciones orientadas a conocer la diversidad de maíz en una región ecológica, destacan las realizadas por Camacho y Chávez (2004) y Burgos *et al.* (2004) en la península de Yucatán y Aguilar y González (2012) en el sureste del Estado de México y Ron *et al.* (2006) en el Occidente de México, entre otros.

Pero México no sólo es centro de diversidad de formas biológicas de maíz, sino también de sus formas de uso, la mayoría de las razas se cultivan para usos comunes, principalmente tortillas, pero se han formado y seleccionado razas y poblaciones para usos especiales, como elotes, pozole, tamales, palomitas, totopos, pinole, panecillos y atoles (Ortega, 2003).

Dentro de estas razas de usos especiales destaca el maíz Ancho que da un pozole (platillo tradicional) de gran calidad. Este maíz alcanza un sobreprecio en los mercados especializados; en el 2010 se reportó un sobreprecio desde 3.6% en el Estado de México hasta 114.7% en Guerrero (Hellin *et al.*, 2013).

Los altos precios de estos maíces ocasionaron una expansión de la distribución. Ortega (1979) reporta su distribución en Morelos, Guerrero y en la parte baja del

Estado de México, entre los 1000 a los 2000 msnm. Sin embargo, actualmente numerosos estudios han reportado la raza Ancho hasta los 2500 msnm (Aguilar y González, 2012; Carrera *et. al.* (2012)) y con una distribución en los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Puebla y Estado de México (Ron (2006); Carrera (2011); Perales (1998)).

La ampliación de distribución del maíz Ancho puede genera nuevas variantes de maíz por adaptación a la nueva área ecológica y cruzamientos con las poblaciones locales. Aguilar y González (2012) y Carrera *et al.*, (2012) reportan poblaciones a nivel de raza que no habían sido descritas y sugieren que son el producto de la interacción del maíz Ancho con los maíces locales de la región. Debido a que la raza de maíz Ancho no ha sido descrita profundamente no se puede asegurar que estas poblaciones sean nuevas razas, ya que pueden ser sub razas del maíz Ancho.

Los estudios de diversidad de maíz son importantes por varias razones, por un lado destacan el aprovechar esa diversidad en mejoramiento genético, y por otro monitorear y hacer trabajos de conservación de dicha diversidad

Este trabajo tiene el objetivo de estudiar la diversidad de maíz Ancho en cuanto a sus ambientes, características morfológicas, respuestas agronómicas y fisiológicas, además de evaluar las diferentes respuestas de los maíces Anchos en dos condiciones ambientales contrastantes.

Este trabajo está dividido en cuatro capítulos estructurales. Capítulo 1, Biogeografía y nichos ecológicos del maíz Ancho en México. Este capítulo analiza 378 registros de maíz Ancho, con base a la ubicación geográfica y factores ambientales como altitud, precipitación anual, temperatura media anual, provincias fisiográficas y tipo de climas en dos periodos de tiempo (1950-1990 y 1991-2010) con el fin de describir las condiciones ambientales que permitieron la actual distribución del maíz Ancho y determinar nichos ecológicos para la conservación de estos procesos.

Capítulo 2, Variantes regionales, sub-razas y colección central del maíz Ancho en México. Este capítulo analiza la diversidad morfológica, agronómica y origen geográfico de 95 poblaciones en dos ambientes contrastantes para develar la estructura de la diversidad entre poblaciones de maíces Anchos en México. Se hace una clasificación en sub-razas del maíz Ancho, además se propone usar el concepto de variantes regionales para comprender mejor la influencia del ambiente en la composición de la diversidad. Por último, se propone cuáles serían las colectas tipos de una colección central.

Capítulo 3, Evaluación agronómica de maíces Anchos de México. En este capítulo se evaluaron 91 colectas de maíces Anchos en función de su rendimiento y características agronómicas, para seleccionar las poblaciones sobresalientes en dos ambientes contrastantes. También se identificaron los principales problemas agronómicos de las poblaciones por grupo de diversidad, para sentar las bases para un proyecto de mejoramiento genético de maíz Ancho.

Capítulo 4, Comportamiento fisiológico de maíces Anchos en dos ambientes contrastantes. En este capítulo se determinó la producción de materia seca, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo y rendimiento de grano en seis poblaciones de maíces Anchos, de altitudes diferentes, pertenecientes al estado de Morelos, Guerrero y el Estado de México, con el propósito de identificar similitudes y diferencias en el crecimiento del cultivo.

Los resultados de este trabajo describen al maíz Ancho y su diversidad existente en México y aporta evidencia del continuo morfológico del maíz, mejorando la comprensión del parentesco en las poblaciones nativas. También ayuda a determinar la dinámica de la diversidad genética en grupo racial y nicho ecológico, aportando evidencia de los fenómenos que influyen en la formación de nuevas variantes de una raza.

# CAPÍTULO I. BIOGEOGRAFÍA Y NICHOS ECOLÓGICOS DEL MAÍZ ANCHO EN MÉXICO

## RESUMEN

Los procesos biológicos evolutivos que generaron la gran diversidad de maíces en México, siguen actualmente en curso, pero comprenderlos no es fácil, porque están determinados por toda una serie de factores, entre los que destacan las actividades antropogénicas y las condiciones ambientales. En los últimos decenios se registra una ampliación en la distribución del maíz Ancho, presumiblemente a causa del buen precio en el mercado. Con el propósito de conocer mejor la distribución de los maíces Anchos en México y sus causas en este trabajo se analiza la información 378 registros de sitios de colectas de maíz Ancho referentes a ubicación geográfica y factores ambientales como altitud, precipitación anual, temperatura media anual, provincias fisiográficas y tipo de clima en dos periodos de tiempo (1950-1990 y 1991-2010) con el fin de describir las condiciones ambientales en las que se ha extendido hasta la actual distribución y determinar en qué nichos ecológicos se cultiva para la conservación de estos procesos. Se identificaron las siguientes tres regiones geográficas en su distribución: Eje Neovolcánico Transmexicano, Sierra Madre del Sur y las Sierras y Valles Guerrerenses, las cuales a través de la evolución bajo domesticación pueden haber generado ecotipos específicos. Se definió que a 900-1000 mm de precipitación y 18-24°C de temperatura media anual, en un clima semicálido húmedo, se encuentra el ambiente óptimo para el maíz Ancho; sin embargo, se puede localizar en un gran rango de altitud. También se proponen siete nichos ecológicos para la conservación *in situ* del maíz Ancho y se propone el nicho de transición a valles altos en Morelos como la ruta de adaptación de este maíz al Eje Neovolcánico Transmexicano.

**Palabras claves:** Maíz Ancho, Nicho ecológico, Modelos de distribución y Maxent.

## INTRODUCCIÓN

Mesoamérica es el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays L.*) (Vavilov, 1931; Kato, 2009), el cual es el cereal más importante para México y el mundo. Aquí se encuentra su pariente silvestre más cercano, el teocintle (*Zea mays ssp. parviglumis* y *Zea mays ssp. mexicana*) (Doebley, 2004 y Matsuoka *et al.*, 2002). Este grano básico, fue originado mediante selección por muchas generaciones de los antiguos pobladores de Mesoamérica. Su diversificación en México parece deberse principalmente a tres factores; 1) la existencia de una gran cantidad de microambientes, que generan presiones de selección divergente para cada uno de ellos ; 2) la influencia de las diferencias culturales de los pobladores de esos microambientes que seleccionan los materiales de acuerdo a su técnicas de cultivos disponibles, necesidades, costumbres y creencias; 3) la migración histórica de poblaciones y en tiempos recientes a causa del comercio, o intercambios de semillas entre y dentro de las diferentes culturas y/o habitantes de las regiones (Muñoz, 2005; Ortega, 2003).

La variación morfológica del maíz es continua (Ramos y Hernández, 1972, López *et al.* 2005); de esta variación continua, algunos investigadores han clasificado por las diferencias más relevantes, tipos que han descrito como razas (Wellhausen *et al.*, 1951). Wellhausen *et al.* (1951) propusieron 25 razas y siete por definir; Hernandez X. y Alanís (1970) agregaron cinco más; Ortega *et al.* (1991) revisaron y propusieron 41 razas; Sánchez *et al.* (2000) 59 razas; y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2006) documentan 62 razas.

El maíz Ancho fue descrito por Ortega (1979); su principal característica es su grano grande y ancho, con mazorcas de 8 a 10 hileras, por lo cual pertenece al Complejo de Ocho Hileras. Las primeras colectas de manera dirigida las realizó el Dr. Kato en 1967, ubicando su distribución entre los 1400 a los 1900 msnm, en los estados de Morelos, Guerrero, así como en las partes bajas del Estado de México.

Recientes trabajos reportan poblaciones de la raza Ancho hasta los 2500 msnm (Aguilar y González, 2012; Herrera *et al.* (2004) Carrera *et. al.* 2012); con una distribución geográfica en los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Puebla y Estado de México (Ron, 2006; Carrera, 2011; Perales, 1998). Su amplia distribución pudiera deberse al atractivo precio del grano, el cual llega a 20 pesos el cuartillo (1 ½ kg) en comparación con el de otras razas; por ejemplo, el Chalqueño y Cónico que llegan a tener un precio entre cinco y siete pesos el kg (Aguilar y González, 2012).

En muchas regiones de México los agricultores que cultivan variedades nativas o criollas de maíz en forma tradicional contribuyen a la conservación y a la generación de la diversidad genética del cultivo *in situ* en procesos locales de evolución bajo domesticación (Herrera *et. al.*, 2004); estos procesos ecológicos-evolutivos son dinámicos y pueden generar nuevas tipos o variantes de las plantas que manejan y cultivan (Aguilar y González, 2012). Estos procesos no están bien definidos en su influencia para la generación de nuevos tipos de maíces. El dinamismo en la reciente ampliación en la distribución del maíz Ancho ocurrida en los últimos decenios, así como de sus causas, brindan la oportunidad de conocer un poco más algunos de estos procesos ecológicos-evolutivos.

Antes del 2006 se había avanzado poco en la descripción de las condiciones climáticas de las áreas de distribución para las razas de maíz en México (Perales y Golicher, 2011). Se contaba principalmente con la información de Wellhausen *et al.* (1951) quienes señalaron las ubicaciones geográficas de los sitios de colectas. Existen algunos trabajos que han presentado las áreas de distribución de las razas de maíz con una perspectiva climática: 1) Aragón *et al.* (2006) presentan los modelos de distribución potencial para la diversidad en Oaxaca 2) Perales y Golicher (2011) presentan modelos de distribución para las razas de maíz y proponen centros de diversidad y de provincias bioculturales. 3) Ruiz *et al.* (2013) presentan las áreas de distribución actual y potencial de las razas de maíz, pero no una distribución en el tiempo.

El primer trabajo considera sólo el estado de Oaxaca, por lo cual no abarca la distribución del maíz Ancho. Los dos últimos trabajos consideran que los factores ambientales que determinan la distribución del maíz son los mismos para todas las razas. Sin embargo, Ruiz *et al.* (1998) mencionan que pueden existir distintos indicadores ecofisiológicos que muestran que el maíz tiene la capacidad de responder de manera muy distinta a diversos ambientes. Por lo cual en este trabajo se realiza una consulta para determinar las variables ambientales que son determinantes en la distribución del maíz Ancho.

Existen diversos trabajos que proponen nichos ecológicos que concentran la diversidad de maíz. Ortega (2003) hace una propuesta basada en adaptación agroecológica y características de la mazorca, grano y usos; Muñoz (2005) propone una división de regiones y nichos con la diversidad de maíz específica; sin embargo, estos nichos no concentran los datos recientes de colectas que muestren un desplazamiento de maíces en el territorio mexicano. Estos trabajos no analizan las diferencias ambientales que se asocian a la distribución diferencial de las razas actuales.

Ruiz *et al.* (2008) analizan la información de los sitios de origen de 4161 registros de maíces nativos, para determinar la adaptación climática y descriptores ecológicos de 42 razas mexicanas; el trabajo es pionero en la temática de caracteres ambientales, donde se ubican las razas; sin embargo, es muy general y poco aportan en torno a la distribución para cada raza analizada.

En este estudio se analizan 378 registros de maíz Ancho, con base a su ubicación geográfica y factores ambientales en dos periodos de exploración de colectas (1950-1990 y 1991-2010), esto con el propósito de describir las condiciones ambientales que permitieron la actual distribución del maíz Ancho y determinar nichos ecológicos para la conservación de los procesos biológico-evolutivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir los objetivos planteados se obtuvieron las siguientes bases de datos de las colectas de maíces Anchos: 1) la base de datos del Proyecto Global de Maíces Nativos “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México” (CONABIO, 2013), 2) el libro de campo del Dr. Kato<sup>1</sup> de 1967, 3) los datos de pasaporte de colectas del 2010 del Dr. Fernando Castillo<sup>2</sup> y del Dr. Ortega Paczka<sup>3</sup> del 2013. Las bases de datos fueron analizadas y depuradas, aceptando solo los registros que fueron identificados por los siguientes especialistas en razas de maíz de acuerdo a CONABIO (2013), porque el maíz Ancho no se ha descrito ni estudiado con profundidad; Drs. Juan Manuel Hernández Casillas, Noel Orlando Gómez Montiel, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), José de Jesús Sánchez González de la Universidad de Guadalajara (UDG), Rafael Ortega Paczka de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Fernando Castillo González, y Takeo Ángel Kato Yamakake del Colegio de Postgraduados (CP);.

### **Análisis de distribución potencial a través del tiempo**

Se obtuvieron un total de 378 registros, los cuales se dividieron en dos periodos de exploración de colectas, 1950 a 1990 (periodo 1) y de 1991 a 2010 (periodo 2) con 127 y 251 registros respectivamente, eligiéndose de esta forma por cuatro motivos; 1) porque hubieron dos años en que fue intensiva la actividad de colectas del maíz Ancho: en 1966-67 y en 2008-09, 2) porque la mención de la dispersión del maíz Ancho al occidente de México fue a partir de los 90s, 3) porque segmentar la base de datos por época de colecta permite obtener modelos independientes y estudiar si los modelos que se generan presentan errores o sesgos derivados del muestreo (Perales y Golicher, 2011); lo cual también permite corroborar si el maíz Ancho ha cambiado en su distribución, y 4) considerar que los esfuerzos de colecta desde el punto de vista espacial y temporal son evidentemente desiguales y algunas regiones están pobremente representadas,

<sup>1</sup> Takeo Ángel Kato Yamakake, profesor- Investigador del Colegio de Postgraduados.

<sup>2</sup> Fernando Castillo González, profesor- Investigador del Colegio de Postgraduados.

<sup>3</sup> Rafael Ortega Paczka, profesor- Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo.

no necesariamente por ausencia de maíz o de variedades tradicionales del mismo (Perales y Golicher, 2011).

En general se sabe que las razas de maíz difieren en sus requerimientos ecológicos, lo cual determina, en gran medida su distribución (Hernández. X. y Alanís, 1970); sin embargo, al existir pocos estudios que identifiquen estos requerimientos, se recurrió a los expertos en diversidad de maíz nativo antes mencionados, para definir las características determinantes del maíz Ancho, coincidiendo principalmente, en que el maíz Ancho es muy susceptible a sequias en su fase vegetativa; además de que la altitud es una variable fundamental en la distribución geográfica diferencial de las razas de maíz (Wellhausen *et al.* 1951). Las variables ambientales elegidas fueron ocho; de las cuales siete fueron elegidas de WorldClim con resolución de 4 minutos arco (0.067 grados decimales, aproximadamente 7 x 7 km, o 50 km<sup>2</sup> en el centro de México) (WorldClim, 2013); temperatura promedio anual, isotermalidad, estacionalidad de la temperatura, precipitación anual, la precipitación del mes más seco, estacionalidad de la precipitación pluvial, precipitación del trimestre más húmedo, y el modelo digital de elevación (INEGI, 2013).

Para la modelación de la distribución geográfica actual y potencial del maíz Ancho se utilizó el programa estadístico Maxent (Phillips *et al.* 2006) basado en la “Teoría de máxima entropía”, debido a que nos proporciona tres ventajas importantes; 1) se requiere sólo datos de presencia, versus otros modelos que requieren datos de presencia y ausencia, 2) tiene un buen desempeño consistente con un número pequeño de muestras y 3) su disponibilidad es gratuita (Morales, 2012). Se validó el modelo de acuerdo al área bajo la curva y con un re-muestreo aleatorio al 25 %.

### **Descripción del Nicho Ecológico**

El concepto de nicho es central en ecología; sin embargo, es controvertido por ser un concepto difuso. Para no entrar en la discusión del concepto, se consideró la definición de nicho tomada de la ecología cuantitativa propuesto por Hutchinson

(1957), el cual explica que nicho ecológico es el hipervolumen n-dimensional formado por las respuestas del organismo al ambiente.

Se extrajeron los datos de procedencia (Estado en el que se ubica), altitud, precipitación anual, temperatura media anual y tipo de clima de cada punto de colecta que se geo-referenció; estos datos se obtuvieron por el Modelo digital de elevación (INEGI, 2013), la capa de climas de Köppen modificado por García (CONABIO, 2008), los datos de las normales climatológicas del servicio meteorológico nacional (CONAGUA, 2010) y datos de climas de Climate-Data (Climate-Data.org, 2012). Se analizó en un contexto nacional para definir el ambiente de la ubicación del maíz Ancho y se realizó un análisis más específico por estado para describir el nicho ecológico de cada uno y denotar diferencias.

Por último se utilizó el programa Quantum Gis 2.8.1 (Quantum GIS Development Team, 2013.) de software libre para diseñar los mapas de distribución actual y potencial, obtenidos por Maxent, y los mapas de ubicación de las colectas en el Modelo digital de elevación (INEGI, 2013) y en las capas de climas de Köppen modificado por García (CONABIO, 2008).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelos de distribución del maíz Ancho a través del tiempo

Para valorar la capacidad de predecir la distribución del maíz Ancho por los modelos generados para los dos periodos se presentan en el área bajo la curva (AUC) en la Figura 1, la cual equivale a la probabilidad de que un punto de presencia seleccionado al azar esté ubicado en una celda del raster con un valor de probabilidad mayor para la ocurrencia de la especie en comparación con la de la seleccionado al azar (Scheldeman y Zonneveld, 2011). Obteniendo en el modelo del periodo 1 un AUC de 0.987 para el entrenamiento y 0.99 para la prueba; en el modelo del periodo 2 se calculó un AUC de 0.98 y 0.97 para entrenamiento y prueba, respectivamente. De acuerdo con la escala de Araujo *et al.* (2005) los modelos son excelentes para predecir la distribución del maíz Ancho, ya que presentan un Área bajo la curva (AUC) mayor a 0.9.

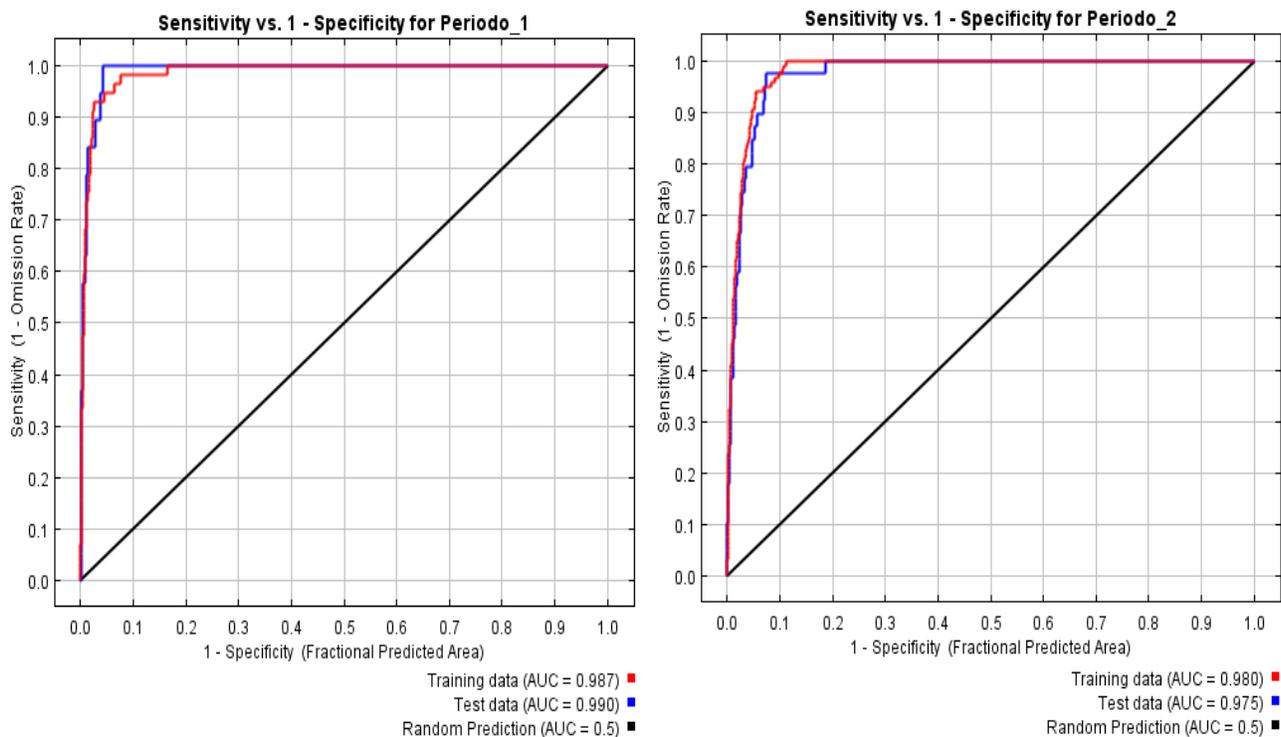


Figura 17.- Característica operativa relativa (ROC) para el modelo del periodo uno a la derecha y para el modelo del periodo dos a la izquierda.

Con el análisis en Maxent se puede determinar cuáles son las variables ambientales que contribuyen en mayor medida a los modelos. Cada paso del algoritmo de Maxent incrementa la bondad de ajuste del modelo mediante la modificación del coeficiente para una única característica; asignando el incremento del ajuste a las variables ambientales de las cuales depende dicha característica (Phillips *et al.*, 2008). Haciendo una conversión a porcentajes al final del proceso, la cual se presenta en el Cuadro 1.

En los modelos de los dos periodos las variables con mayor contribución porcentual fueron: la estacionalidad de la temperatura, la precipitación pluvial del trimestre más húmedo y el modelo digital de elevación. En el Periodo 1 (1950-1990) la contribución acumulada de las cuatro variables fue de 84.4 % y en el periodo 2 de 83.2 % (Cuadro 1). Estos resultados concuerdan con las observaciones hechas por Wellhausen *et al.* (1951) quienes mencionan que las razas de maíz están adaptadas a intervalos específicos de altitud, lo cual podría depender de sus relaciones con la temperatura ambiental. Con los resultados obtenidos podemos mencionar que la desviación estándar de la temperatura es un factor muy importante. Kato (1967) menciona que los productores de Morelos identifican a este maíz como delicado en cambios bruscos de temperatura y sequías prolongadas.

*Cuadro 6.- Contribución de las variables en los modelos de cada periodo expresado en porcentaje.*

| VARIABLE                               | CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL |           |
|--|-------------------------|-----------|
|  | Periodo 1               | Periodo 2 |
| ESTACIONALIDAD DE LA TEMPERATURA       | 29.2                    | 23.4      |
| PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS HÚMEDO | 22.2                    | 27.6      |
| MODELO DIGITA DE ELEVACIÓN             | 18.9                    | 21.2      |
| ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN     | 14.1                    | 11        |
| ISOTERMALIDAD                          | 8.2                     | 4.1       |
| TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL             | 3.8                     | 5         |
| LA PRECIPITACIÓN DEL MES MÁS SECO      | 3.5                     | 4.6       |
| PRECIPITACIÓN ANUAL                    | 0                       | 3.1       |

En el modelo del periodo 1 se puede observar una probabilidad de existencia de 0.5 a 0.75 en la parte norte de Morelos y del centro y norte de Guerrero, y un área potencial con 0.3 a 0.5 de probabilidad en los estados de Michoacán, Jalisco y Oaxaca, donde se reporta actualmente su ubicación (Figura 2). Estos resultados concuerdan con los trabajos realizados por Wellhausen *et al.* (1951), que

mencionan que el maíz semi-pepitilla se cultiva extensamente en el norte de Guerrero a elevaciones de 1000 a 1700 msnm; Ron (1974) encontró, en Morelos, como maíces dominantes a las razas Pepitilla, Tuxpeño y Ancho, siendo este último un maíz muy específico en su distribución, concentrada en la parte norte del estado por ser la zona con mejores condiciones climatológicas que permiten buenos rendimientos, finalmente Ortega *et al.* (1991) mencionan a Guerrero y Morelos como el área de distribución del maíz Ancho.

En el modelo del Periodo 2 (1990-2010) aplica para la distribución actual y potencial del maíz Ancho, donde se puede observar áreas con una probabilidad de distribución de 0.5 a 0.75 en los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Morelos, Estado de México y Puebla, áreas donde han sido reportados recientemente (Aragón *et al.*, 2005; Ron *et al.*, 2006; Morales y Ayala 2010; Carrera *et al.*, 2011) y que el modelo del Periodo1 las determinó como áreas potenciales, validando de esta forma el modelo del Periodo 1.

La distribución del maíz, al ser una planta domesticada, depende del ambiente y del hombre. El modelo propuesto sólo considera las condiciones ambientales favorables para su distribución; de esta manera se detectaron ambientes idóneos para el cultivo de maíz Ancho, pero no se reporta con abundancia en ellos; este es el caso de la parte central de Oaxaca, donde según el modelo existe alta probabilidad de presencia y ha sido reportado por Aragón *et al.* (2005) y Aragón (2011), pero no en abundancia, debido a la presencia de otro maíz nativo utilizado para la elaboración del pozole.

Este modelo difiere en dos puntos con el modelo de distribución presentado por Ruiz *et al.* (2013): 1) los sitios de distribución no presentan a Michoacán como área de distribución que sí es considerado en el modelo aquí propuesto y 2) el área potencial que su modelo propone es muy extensa, ya que considera Sinaloa, Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Zacatecas. Esta diferencia se debe a que en los registros y las variables ambientales utilizadas para el análisis; en este trabajo se introdujeron bases de datos que complementarían la publicada por CONABIO y se realizó una depuración de las variables ambientales más importantes para el maíz Ancho.

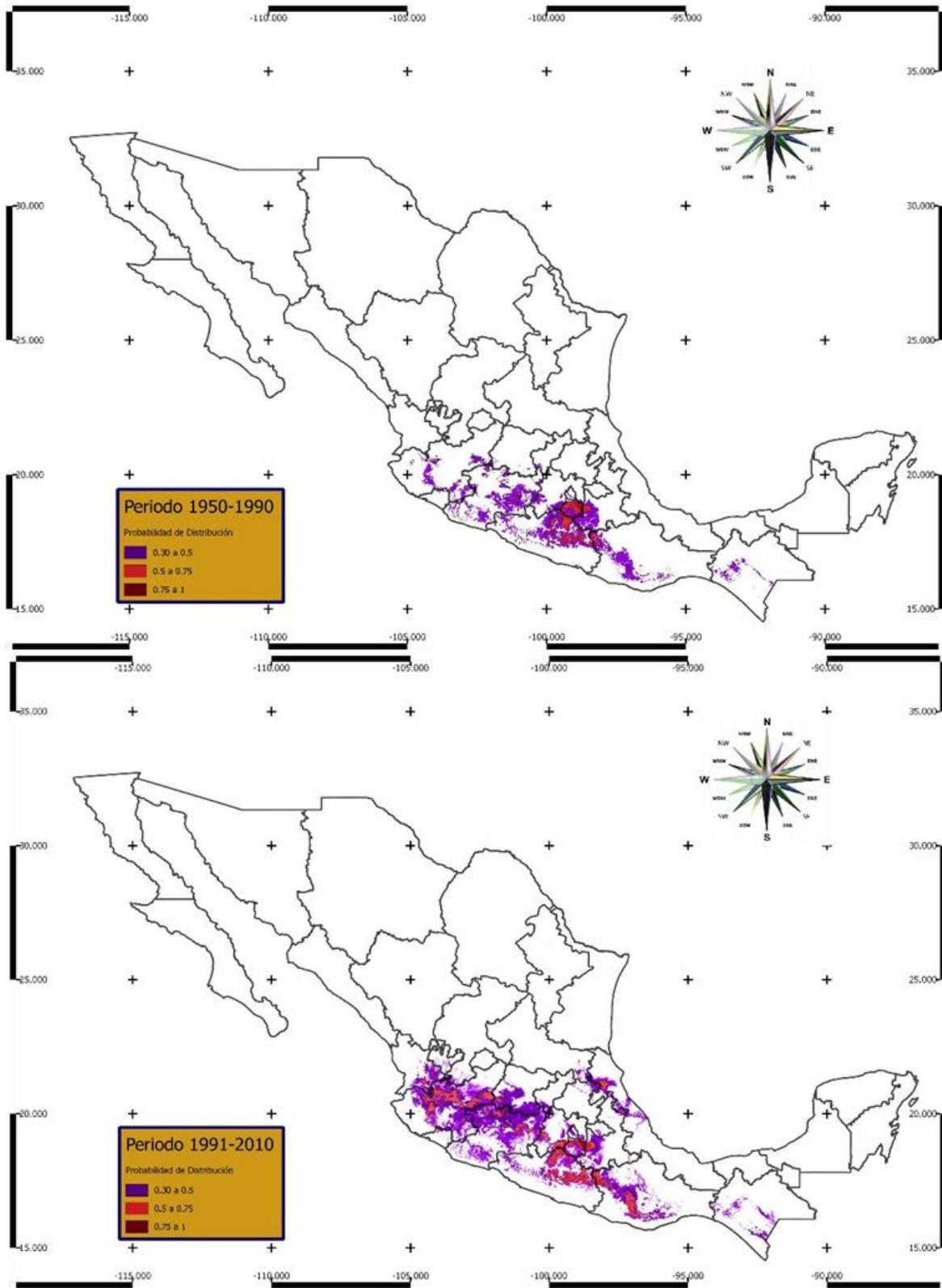


Figura 18.- Modelo de distribución actual y potencial del maíz Ancho. Mapa superior es el moldeo para el Periodo 1 (1950-1990) y el mapa inferior el modelo para el Periodo 2 (1991-2010)

## Descripción de ambientes a nivel nacional del maíz Ancho

La descripción del ambiente a nivel nacional, se determinó con los mismos periodos usados en los modelos, para determinar la distribución del maíz Ancho a través del tiempo (Figura 3).

La distribución del maíz Ancho en el Periodo 1 (1950-1990) se concentró en Morelos, Guerrero y en el Estado de México sobre la región de Coatepec de Harinas, distribuyéndose principalmente de 1000 a 1600 msnm en Guerrero y de 1600 a 2000 msnm en Morelos. La mayor frecuencia de colectas de maíces Anchos se reportan en climas semicálidos subhúmedos y cálidos subhúmedo (A)C(w1), (A)C(w2) y Aw0), de acuerdo a clasificación de García (2005).

La precipitación total anual y la temperatura media anual de las localidades donde se registró la presencia de maíz Ancho, en este periodo, comprende de los 800 a 1200 mm y 16 a los 26°C; sin embargo la mayor frecuencia se presentó en el rango de 900 a 1000 mm y 18 a 24 °C.

La distribución registrada en el Periodo 2 (1991-2010) muestra la dispersión a otros ambientes, localizándose en estos años en los estados de Jalisco y Michoacán como centros importantes de distribución, además en el Estado de México el maíz se introdujo a la región Chalco-Amecameca a altitudes arriba de 2200 m y condiciones climáticas más extremas sobre todo a menor temperatura, ampliando la distribución a los climas templados subhúmedo y semiárido cálido (C(w<sub>0</sub>), C(w<sub>1</sub>), C(w<sub>2</sub>) y BS<sub>1</sub>(h')w) y en altitudes entre 700 y 2500 msnm, concentrándose la mayor frecuencia en el intervalo de 1600-2200 msnm. Estos resultados difieren con lo reportado por Ruiz *et al.* (2008) que señalan que el maíz Ancho se distribuye en una altitud mínima de 895 y máxima de 2100 con una media de 1509 m; esta diferencia podría deberse al menor número de muestra utilizado, donde se incluyeron 61 accesiones.

En el análisis del Periodo 2 se nota que el maíz Ancho amplió su distribución a ambientes con precipitación anual y temperatura media anual en intervalos que van de 600 a 1200 mm y de 14 a 26 °C; sin embargo, mantuvo la mayor frecuencia en los mismos intervalos que el Periodo 1, lo que sugiere que el ambiente óptimo y de origen del maíz Ancho es de 900-1000 mm de precipitación

y 18-24°C de temperatura media anual en un clima semicálido subhúmedo. Esto resultados difieren con los señalados por Ruiz *et al.* (2008) que determinan promedios anuales de temperatura mínima de 16 y máxima de 23°C con una media de 20.1°C y una precipitación mínima de 789 y máxima de 1224 mm con una media de 970 mm. Los otros rangos registrados con la presencia de maíz Ancho son ambientes donde se experimenta o se realizan prácticas de adaptación de este maíz.

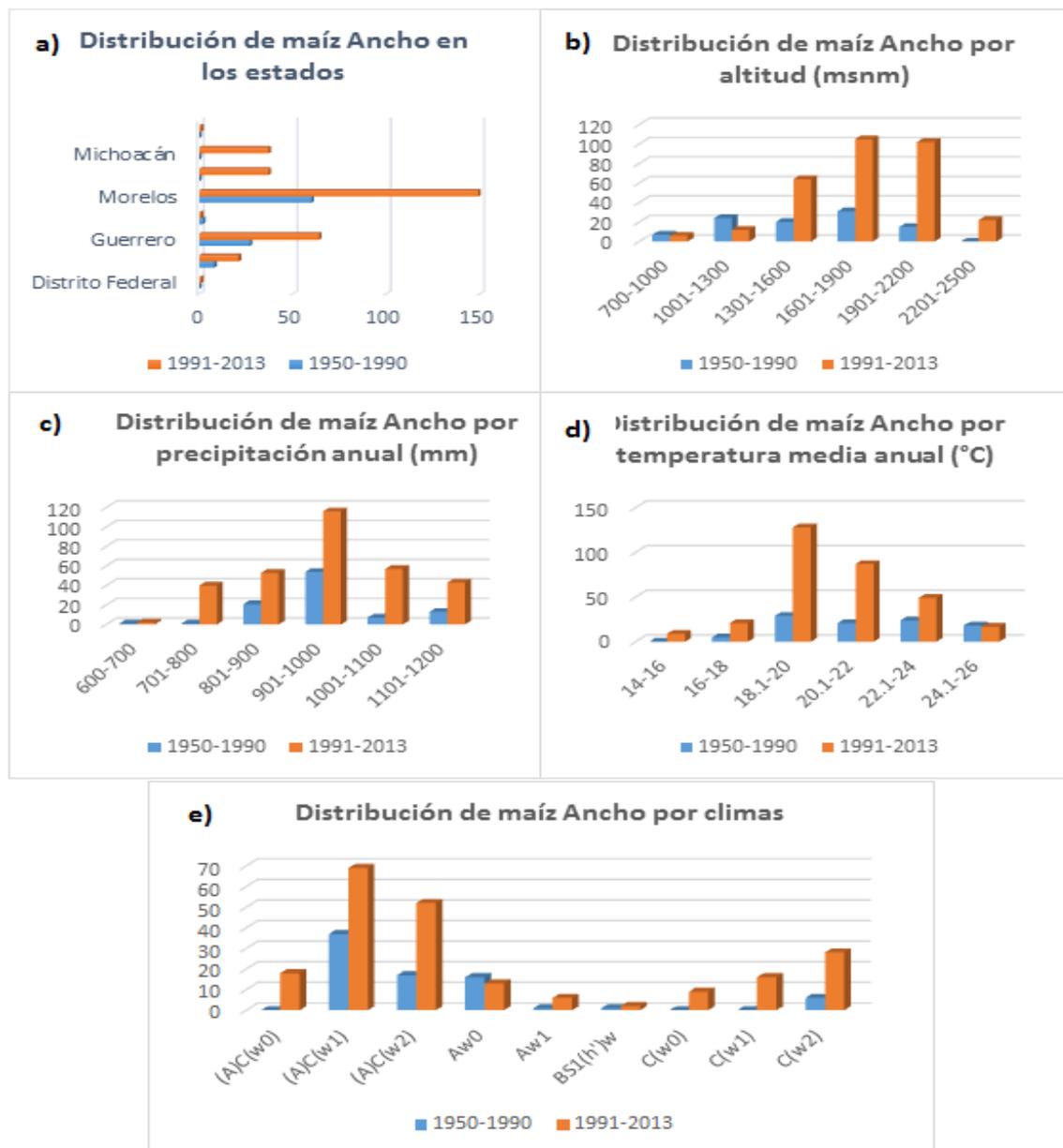


Figura 3.- Graficas que presentan la distribución y abundancia de las colectas de maíz Ancho en a) estados, b) altitud, c) precipitación anual, d) temperatura media anual y e) tipos de clima según García (2005)

En la Figura 4 se presentan los resultados del análisis con el modelo digital de elevación, donde se puede observar que la distribución del maíz Ancho está situada en tres provincias fisiográficas; 1) el Eje Neovolcánico Transmexicano, 2) la Sierra Madre del Sur (INEGI, 1991) y 3) las Sierras y Valles Guerrerenses (Cervantes *et al.*, 1992), esta última, actúa como conectoras entre las primeras dos. Esta delimitación es substancial porque las provincias fisiográficas son regiones que tienen un mismo origen geológico, con paisajes y tipos de rocas semejantes en la mayor parte de su extensión y con geformas similares (INEGI, 1991). De esta manera, se propone denominarlas regiones geográficas del maíz Ancho

Entre las diferencias ambientales se pueden mencionar; el Eje Neovolcánico Transmexicano presenta una barrera natural ante las inclemencias del Océano Pacífico, principalmente las que entran por el estado de Guerrero, lo que genera un ambiente particular; además, Cruz *et al.* (2007) proponen el modelo fisiográfico que es más preciso para relacionar el origen de los suelos frente a otros modelos, indicando que el Eje Neovolcánico Transmexicano está constituido principalmente por suelos Andosoles, las Sierras y Valles Guerrerenses por suelos Leptosoles, y la Sierra Madre del sur por suelos Acrisoles, Regosoles y Cambisoles. En la Sierra Madre del Sur tiene más diversidad de suelos porque es muy compleja, en cuanto a su constitución litológica y a la variedad de edades de las rocas, por tener una actividad de ascenso vertical por su vecindad con la trinchera Mesoamericana y los ascensos bruscos que se han producido debido a sismos en la costa (INEGI, 2008).

Estas tres regiones presentan características ambientales propias, lo cual puede generar cambios genéticos que propicien diferencias entre los maíces locales de las regiones, generando sub-razas o variantes regionales bien definidas. Sin embargo los cambios genéticos no se deberán solo a los factores ambientales, sino también a selección por formas de manejo, selección de los productores, por usos, y otros criterios, así como por cruzamiento con otras razas de maíces particulares de las regiones geográficas descritas.

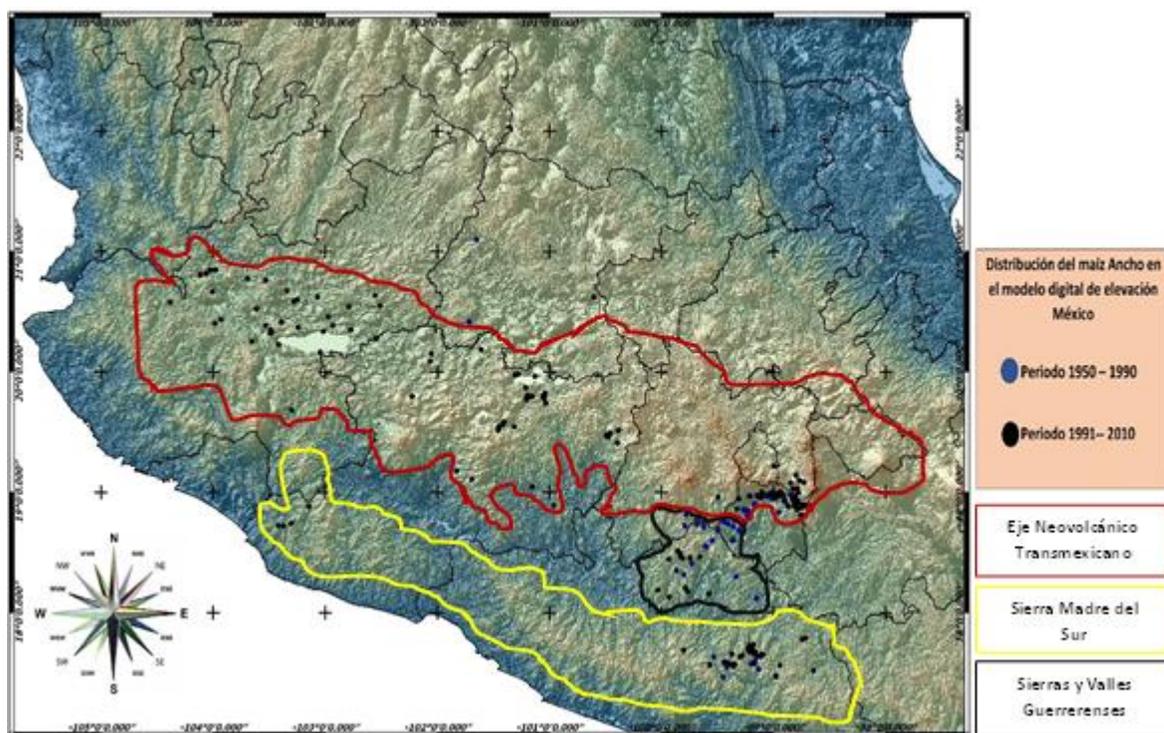


Figura 4.- Zonas geográficas de distribución del maíz Ancho en México, con información del modelo digital de elevación y provincias fisiográficas de México, (INEGI, 2013; Cervantes et al., 1992)

## Descripción del Nicho Ecológico

Para la descripción de los nichos se realizó un análisis de abundancia, en descriptores ambientales revisados, por estado. De esta manera la descripción de nichos ecológicos de razas de maíz, es una herramienta fundamental para su conservación *in situ*, la cual actualmente está siendo apoyada por programas a escala de entidad federativa.

En la Figura 5 se presentan los descriptores ambientales por estados, con el porcentaje de abundancia de los registros analizados. En altitud, la presencia del maíz en rangos más diversos se presenta en Michoacán, Morelos y Guerrero. En Michoacán y Morelos la mayor abundancia se concentra entre 1600 a 2000 msnm, en estos estados el desplazamiento se realiza a mayor altitud que la del ambiente óptimo; según Ron (1974) esto se debe a que las condiciones ambientales de Morelos son mejores en esta zona. En opinión del Dr. Rafael

ortega Paczka (comunicación personal)<sup>1</sup> se debe a que en Morelos las principales zonas agrícolas están aisladas y protegidas de la llegada de masas aéreas frías por altas montañas. En Guerrero, la distribución se agrupa entre 700 a 1900 msnm, por lo tanto, el desplazamiento es hacia altitudes menores que las del ambiente óptimo. En el Estado de México y Jalisco se concentran en altitudes más específicas de 1900 a 2500 y en 1300 a 1900 msnm, respectivamente.

La diversidad de altitudes genera una diversidad de ambientes particulares en cada estado, lo que se ilustra por lo encontrado en los estados de Guerrero y Morelos, que son los de posible origen o al menos distribución temprana de la raza Ancho. En Guerrero se ubicaron en sitios con precipitaciones de 800 a 1200 mm, temperaturas de 20 a 26 °C con una alta frecuencia entre 22 y 24 °C y en climas semicálidos húmedos, cálidos subhúmedos y semiáridos. En Morelos se encuentran en regiones con precipitaciones de 900 a 1000 mm, temperaturas de 18 a 20 °C y con climas semicálidos húmedos, cálidos subhúmedos y templados sub húmedos.

Este estudio sugiere que Morelos probablemente fue la ruta de adaptación de los maíces Anchos hacia el Eje Neovolcánico Transmexicano al presentar ambientes más fríos ya que en el estado de Guerrero se presentan los maíces en un ambiente más cálidos. Así, al presentarse en dos ambientes contrastantes probablemente existan diferencias genéticas generadas por la evolución bajo domesticación.

En el estado de Michoacán se presenta una situación muy particular, ya que no se había registrado su presencia en el Periodo 1; sin embargo, actualmente el maíz Ancho se encuentra en todos los ambientes reportados dentro de este estado. Se encuentra en lugares con precipitaciones de 700 a 1000 mm concentrándose la mayoría entre los 700 y 800 mm, con temperaturas de 16 a 26 °C, pero la mayor frecuencia entre 16 y 18°C, y en climas semicálidos húmedos, cálidos subhúmedos, semiáridos y templados subhúmedos; registrándose la mayoría en el clima templado subhúmedo.

---

<sup>1</sup> Rafael Ortega Paczka, profesor- Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo.

Esta gran gama de ambientes detectados para Michoacán y la interacción con la diversidad de maíces de cada ambiente; sugieren que este estado puede ser importante en los procesos biológico-evolutivos para los siguientes años.

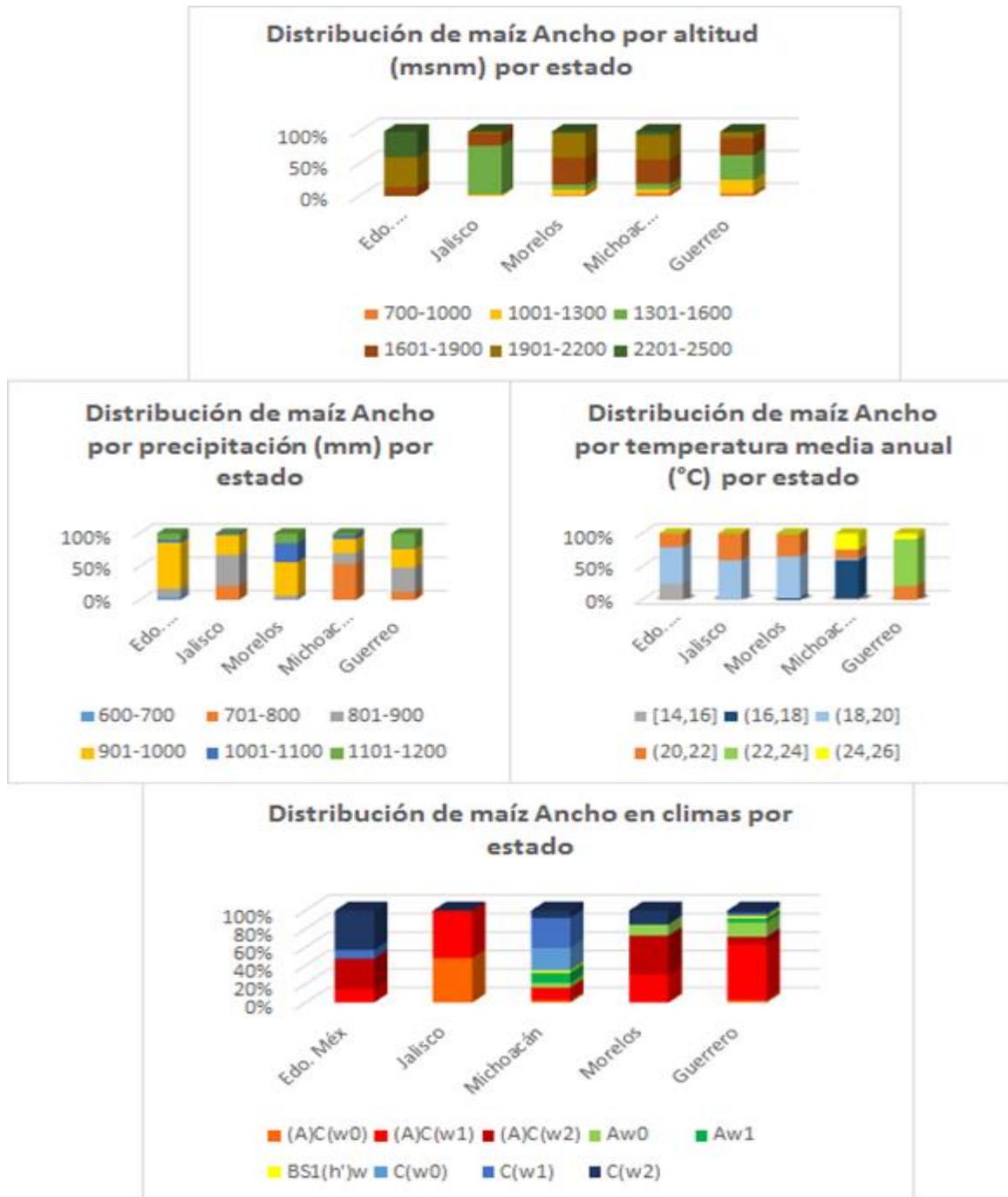


Figura 5.- Distribución y abundancia por estado de las colectas de maíz Ancho en altitud (superior), precipitación anual (central izq.), temperatura media anual (central der.) y tipos de clima según García (2005) (inferior).

Los estados de Jalisco y Estado de México presentan ambientes menos diversos pero igualmente importantes. En Jalisco, los lugares donde se ubican presentan ambientes de 700 a 1000 mm de precipitación, de 18 a 22 °C de temperatura y climas semicálidos húmedos. En el Estado de México la precipitación se registra entre 800 a 1000 mm, de 14 a 20 °C de temperatura y en climas semicálidos húmedos y templados sub húmedos, este el último presenta el clima más frío reportado para esta raza.

Con base a la información descrita, se proponen siete nichos: 1) Nicho Sierra y Valles de Guerrero, 2) Nicho de transición a Valles altos, 3) Nicho central y montaña de Guerrero 4) Nicho del sureste del Estado de México, 5) Nicho de tierras altas de Michoacán, 6) Nicho Sierra Madre del Sur en el occidente de México y 7) Nicho del occidente de México; estos nichos se agrupan dentro de las regiones geográficas de distribución propuestas anteriormente (Figura 6)

Los primeros tres nichos involucran la zona de origen y diversidad de la raza, El Nicho Uno y Dos se concentran en el estado de Guerrero y se caracterizan por ser ambientes con temperaturas altas, el primero se encuentra en las Sierras y Valles Guerrerenses y el segundo en la Sierra Madre del Sur, este último une las dos regiones señaladas como nicho por Muñoz (2005) y Gómez (2013). El Nicho Tres es la región de transición de Morelos que probablemente sea el origen de los Anchos desplazados al Eje Neovolcánico Transmexicano porque es el nicho de origen con características ambientales similares.

El Nicho Cuatro se sitúa en el sureste del Estado de México y es el que registra las temperaturas más bajas y sitios más altos para el maíz Ancho. El nicho cinco y seis se sitúan en su mayor parte en Michoacán y son muy contrastantes; el Quinto se sitúa en el Eje Neovolcánico Transmexicano, en la parte norte del estado, el cual se caracteriza por sus climas fríos; por el contrario, el Sexto Nicho se ubica en la Sierra Madre del Sur con climas de altas temperaturas. El hecho de que en Michoacán se presenten dos provincias fisiográficas da origen a una gran diversidad de climas en el estado. El Nicho Siete se ubica en su mayor parte en Jalisco y es el nicho con menor precipitación de todos.

Es importante remarcar que los nichos propuestos no son estáticos, por lo que deben monitorearse tanto, como los que puedan determinarse en años futuros. Debido a que es el Ancho es un maíz que despierta mucho interés a los agricultores por su alto costo en el mercado, está siendo adoptado y adaptado por muchos productores y como se mostró en las áreas potenciales, aún quedan muchas sin explorar a fondo; Sin embargo, este trabajo propone un punto de partida para entender la distribución de la raza, como un material fundamental para su conservación *in situ*.

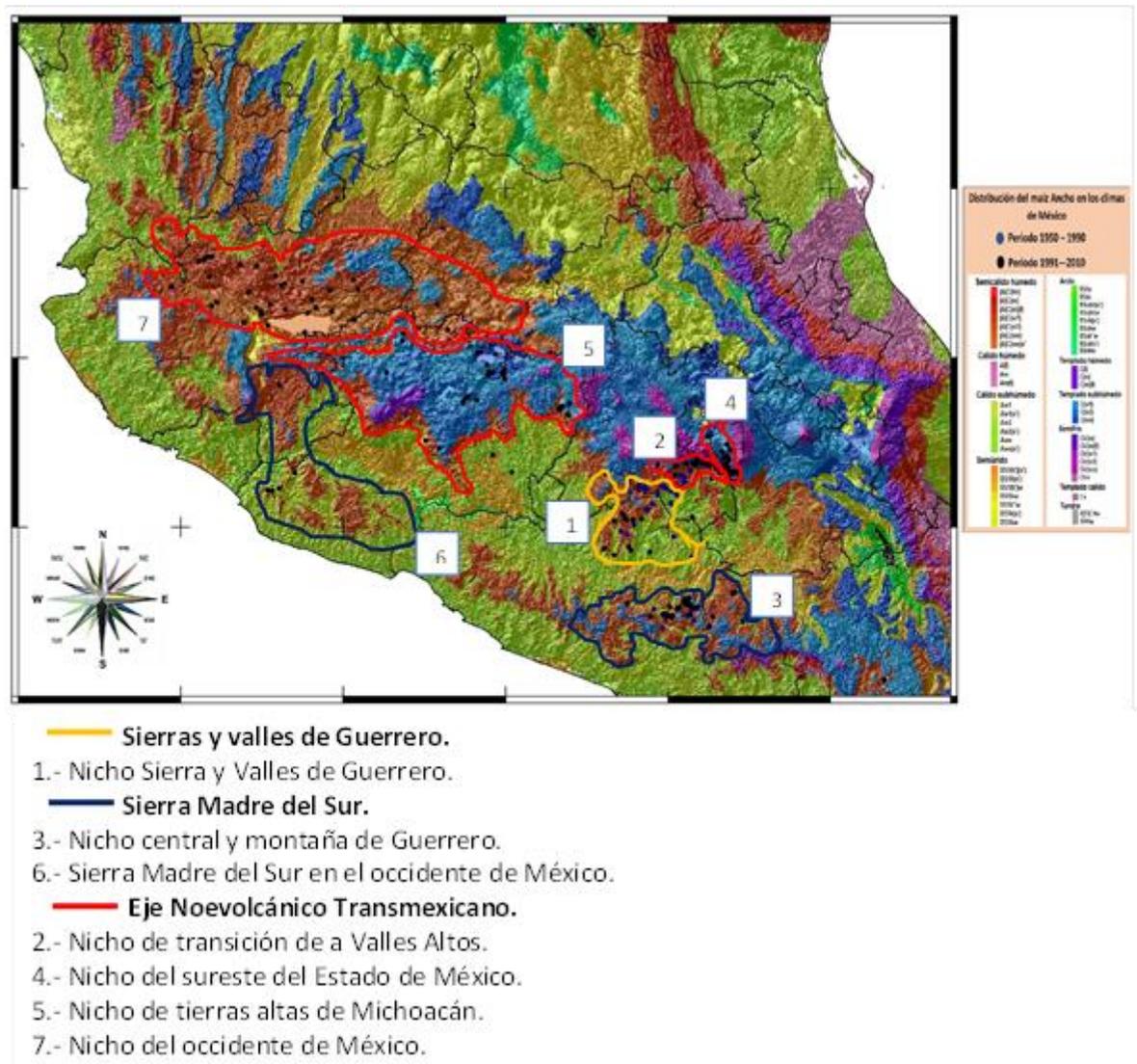


Figura 6.- Mapa con los siete nichos propuestos, y su distribución en los climas en México, según García (2005).

## CONCLUSIONES

El uso de dos modelos por periodos temporales de exploración de colectas, permitió validar el primero con el segundo, lo que asegura que el maíz Anchos está en proceso de dispersión y adaptación en ambientes muy diversos del país, concentrando esta dispersión hacia el occidente.

Los resultados sugieren que el maíz Ancho tiene una gran diversidad y plasticidad genética que le permite adaptarse a diversos ambientes lo que facilita su dispersión en los últimos años; sin embargo, se considera como ambiente óptimo y de origen del maíz Ancho de 900-1000 mm de precipitación y 18-24°C de temperatura, en un clima semicálido húmedo. Se recomienda hacer estudios de seguimiento de este maíz en distintos ambientes para poder observar el fenómeno de evolución bajo domesticación, lo que no solo sería relevante para la distribución geográfica y cambios en esta raza, sino que puede contribuir a entender mejor los cambios en la diversidad de maíz que existe en México y en su distribución.

Se definió la distribución del maíz Ancho en tres provincias fisiográficas (Eje Neovolcánico, Transmexicano Sierra Madre del Sur y Sierras y Valles Guerrerenses), con características ambientales bien definida que podrían generar diferencias genéticas a corto, mediano o largo plazo.

Se determinaron siete nichos ecológicos que pueden utilizarse en programas de conservación *in situ* y de mejoramiento genético de poblaciones para los productores interesados.

El nicho presente al norte de Morelos se propone como posible ruta de adaptación del maíz Ancho a los valles altos, por presentar ambientes similares.

Michoacán es un estado que proporciona las condiciones ambientales para generar gran diversidad de esta raza, por lo que se recomienda monitorear la diversidad de este maíz en los años futuros.

Se ha expandido al altiplano sobre los 2200 msnm en el Estado de México.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar J., J. A. y J.J. González R. 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.
- Aragón C., F. S. Taba, J. M. Hernández, J. D. Figueroa y V. Serrano. 2006. Actualización de la Información sobre los Maíces Criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México D. F. 119 p.
- Aragón C., F., F. H. Castro G., J. M. Cabrera T., L. Osorio A. 2011. Bancos Comunitarios de Semillas para Conservar *in situ* la Diversidad Vegetal. Publicación especial No. 9. INIFAP, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca, México. 79 p.
- Aragón C., F., S. Taba, F. H. Castro G., J. M. Hernández C., J. M. Cabrera T., L. Osorio A. y N. Dillanes R. 2005. In situ conservation and use of local maize races in Oaxaca, México: A participatory and decentralized approach. En: Taba S. (ed), Latin American Maize Germoplasm Conservation: Regeneration, In situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding; Proceedings of a Workshop held at CIMMYT, Abril 7-10, 2003. México, D.F. p.26-38.
- Araujo M. B., R. Pearson, W. Thuiller and M. Erhard 2005. Validation of species–climate impact models under climate change. *Glob Chang Biol* 11: 1504–1513.
- Carrera V., J. A., J. Ron P. y M. M. Morales R. 2012. Cinco Nuevas Razas de Maíz (*Zea mays L spp mays*) en el Occidente de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. Pp. 144.
- Carrera V., J. A., J. Ron P., A. A Jiménez C., M. M. Morales R., F. Márquez S., L. Sahagún C., J. J. Sesmas G. y M. Sitt M. 2011. Razas de Maíz de

Michoacán de Ocampo. Su Origen, Relaciones Fitogeográficas y Filogenéticas. COECYT-Michoacán. CROMOGRAFF. Morelia, Michoacán. 150 p.

Cervantes Z., Y., S. L. Cornejo O., R. Lucero M., J. M. Espinoza R, E. Miranda V. y A. Pineda V. 1992. Provincias Fisiográficas de México. En: Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Climate-Data.org. 2012. CLIMATE-DATA.ORG Clima: México. Consultado el 28/03/2015. Disponible en: <http://es.climate-data.org/country/179/>.

CONABIO. 2006. Elementos para la determinación de los centros de origen y centros de diversidad genética en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al medio ambiente en México. Documento base preparado por la Coordinación Nacional de la CONABIO para la SEMARNAT y la SAGARPA. México, D.F. 33 p. [http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc\\_CdeOCdeDG.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf).

CONABIO. 2008. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado el 15/03/2015. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no).

CONABIO.2013. Proyecto Global de Maíces Nativos. Consultado el 01/09/2013. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>.

CONAGUA. 2010. Normales Climatológicas por Estación. Consultado el 03/04/2015. Disponible en: [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75).

Cruz, C., C. Balbontin, F. Paz, J. Etchevers y P. Krasilnikov. 2007. Variabilidad morfogénica de los suelos en México y su relación con el modelo fisiográfico nacional. Simposio de Geografía, Cartografía y Variabilidad Espacial de los Suelos. En el XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. México. Pp.129-158.

- Doebley, J. 2004. The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* 38: 37-59.
- García, E. 2005. *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 305 p.
- Gómez M, N. O., M. Á. Cantú A., C. Á. Hernández G., M. G. Vázquez C., F. Aragón C. y A. Espinosa C. 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. Folleto Técnico N° 21. Iguala de la Independencia, Guerrero. México. 45p.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3–30
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C. y M. M. Goodman. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38(2):191-206.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., R. A. Ortega P. y A. Delgado A. 2013. Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1): 33-43.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks - Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. 22:415-427. Reprinted in: *Classics in Theoretical Biology*. Bull. of Math. Biol. 53:193-213.
- INEGI. 1991. *Datos básicos de la Geografía de México*. INEGI. México. 142p.
- INEGI. 2008. *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrológicas en México*. 2008. INEGI. Tecnología educativa. México. 132p.
- INEGI. 2013. *Continúo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. Consultado el 28/10/2013. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>.
- Kato Y., T. A., C. Mapes, L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. Bye B. 2009. *Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica*. Universidad Nacional

- Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 115 p.
- López R., G., A. Santacruz V., A. Muñoz O., F. Castillo G., L. Córdova T., y H. Vaquera H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de Maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30(5): 284-290.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.
- Morales V, J. G. y J. A. Ayala E. 2010. Maíces Criollos del Sureste de Jalisco, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 118 p.
- Morales, S. N. 2012. Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en conservación. *Revista Conservación Ambiental*. 2(1):1-5.
- Muñoz O., A. 2005. Centli-maíz: Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. Programa Nacional de Recursos Fitogenéticos SNICS-SAGARPA. México, D.F. Pp. 133-142.
- Ortega P., R. 1979. Reestudio de las razas Mexicanas de maíz. Informe Anual. Campo Experimental de la Mesa Central. INIA. Chapingo, México.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad del maíz en México. En: G Esteva, C. Marielle (eds). *Sin Maíz No Hay País. Culturas Populares de México*. D.F., México D.F. pp:123-154.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. In: Ortega P., R. A., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds.). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. SOMEFI. Chapingo, México. 161-185.
- Perales R., H. R. 1998, Conservation and Evolution of maize in Amecameca and Cuautla valleys of Mexico, PhD. Thesis. University of California, Davis. 350 p.

- Perales R., H. y D. Golicher. 2011. Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad. Informe Técnico Preparado para la CONABIO. ECOSUR. Chiapas. México. 108 p.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, & R. E Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231–259.
- Phillips, S. and M. Dudik. 2008. Modeling of species distribution with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Quantum GIS Development Team. 2013. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Ramos R A y E Hernández, X. 1972. Variación morfológica de los maíces de la zona oriental del Estado de México y del Centro de Puebla, México. Resúmenes del I Congreso Latinoamericano de Botánica. pp. 119-120. Reproducido en E. Hernández X., 1987. *Xolocotzia* Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 757-758.
- Ron P., J., J. J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martín L., M. Morales R., L. de la Cruz L., S. A. Hurtado de la P., S. Mena M. y J. G. Rodríguez F. 2006. Maíces nativos del Occidente de México I. *Colectas 2004. Scientia-CUCBA* 8(1):1-139.
- Ron P., J., J. J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martín L., M. Morales R., L. de la Cruz L., S. A. Hurtado de la P., S. Mena M. y J. G. Rodríguez F. 2006. Maíces nativos del Occidente de México I. *Colectas 2004. Scientia-CUCBA* 8(1):1-139.
- Ron P., R. 1974. Evaluación de maíces criollos de temporal en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Escuela de Agricultura. 93 p.
- Ruiz C., J. A., A. Ramírez O., M. J. Guerrero H. y J. J. Sánchez G. 2013. Distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz. En: Ortega C., A., M. J. Guerrero H. y R. E. Preciado O (eds.). 2013. *Diversidad y Distribución del maíz nativo y sus Parientes Silvestres en México. Biblioteca básica de agricultura.* Pp. 174-208.

- Ruiz C., J. A., J. J. Sánchez G., and M. M. Goodman. 1998. Base temperature and heat unit requirement of 49 Mexican maize races. *Maydica* 43: 277-282.
- Ruiz C., J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez, G., R. Ron P., D. R. González E., G. Medina G., and B. J. Holland. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sei.* 48:1502-1512.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Economic Botany.* 54(1): 43–59.
- Scheldeman, X. y M. van Zonneveld. 2011. *Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas.* Bioersivity International, Roma, Italia. 186 pp.
- Wellhausen E.J., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P.C. Mangelsdorf. 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.
- WorldClim. 2010. Global Climate Data. Consultado el 10/10/2013. Disponible en <http://www.worldclim.org/current>.

## CAPÍTULO II. VARIANTES REGIONALES, SUB-RAZAS Y COLECCIÓN CENTRAL DEL MAÍZ ANCHO EN MÉXICO

### RESUMEN

México es reconocido como centro de origen, domesticación y diversificación del maíz. Se han realizado numerosos trabajos para conocer la diversidad; sin embargo, la mayoría han sido enfocados a la clasificación racial, pero pocos han estudiado la diversidad dentro de razas y los complejos simpátricos, los cual puede entender e identificar variantes de alto valor económico y cultural; dentro de éstas se encuentra el maíz Ancho. El objetivo del presente estudio fue estudiar la estructura de la diversidad del maíz Ancho con base en caracteres morfológicos, agronómicos y origen geográfico. Se caracterizaron 95 poblaciones de maíz en dos ambientes contrastantes, se eligieron 13 caracteres para evaluar la diversidad entre poblaciones de maíces Anchos en México. Los resultados del análisis de componentes principales, análisis conglomerados y ubicación geográfica, indican que los maíces Anchos se pueden dividir en dos variantes regionales: a) los de los Valles Centrales de México que son aquellos de grano grande, plano y alargado; con mazorca ancha y cilíndrica; y b) los de la Sierra Madre del Sur que son aquellos de grano grande y cuadrado con mazorcas alargadas y semi-cónicas. Además de dividirse en tres sub-razas: Anchos del valles central, Maizón de Chiniculia, y Anchos de Guerrero los cuales están compuestos por el sub-grupo Semi-Anchos azules, Semi-Anchos amarillos, Ancho-Bolita y Anchos blancos.

**Palabras claves:** *Zea mays*, maíz Ancho, diversidad, variantes regionales, sub-razas y maíz pozolero.

## INTRODUCCIÓN

México es uno de los 12 países mega diversos (Boege, 2010) y uno de los centros de origen y diversificación de la agricultura (Vavilov, 1926). Matsuoka *et al.*, (2002) y Kato (2009) aportan elementos que respaldan el planteamiento de que México es el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz. Hernández X. y Alanís (1970), Sánchez *et al.*, (2000), Ortega (2003) y Pressoir y Berthaud (2004) atribuyen la diversificación de nuevas variantes de maíz a mutaciones, cruzamiento entre diferentes tipos, selección ambiental, selección humana y aislamiento geográfico.

Dentro de la diversidad de poblaciones de maíz algunos investigadores clasificaron la diversidad en razas y sub-razas, y eligieron poblaciones como típicas de estas. Anderson y Cutler (1942) definen la categoría taxonómica de raza como poblaciones con un conjunto de características en común que las distingue como grupo y las diferencia de otras poblaciones, con capacidad de transmitir dichas características a las siguientes generaciones, y definen a las sub-razas como un grupo de individuos con un mayor número de genes en común que la raza. Hernández y Alanís (1970) plantean que para definir mejor una raza, será aquella que ocupó un área ecológica específica. Ortega (2003) precisa que una raza, más que una población, es un conjunto de poblaciones.

Wellhausen *et al.* (1951) plantearon la primera clasificación amplia del maíz en México; donde se identificaron 25 razas, siete que requerían en ese momento mayor información para su definición y tres sub-razas; Hernández y Alanís (1970) describieron cinco nuevas razas de la Sierra Madre Occidental del noroeste de México; Las descripciones más recientes de otras razas de maíz mexicano son las de Ortega (1985), Benz (1986), Sánchez (1989), Ruiz *et al.*, (2008) y La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2010) quienes consideran 59 razas ordenadas en cuatro grupos y subgrupos de acuerdo a la similitud de sus características morfológicas y climáticas del sitio de colecta.

No obstante lo anterior, se ha documentado poco sobre la variación dentro de un grupo racial y complejos de variación simpátrica destacan los trabajos en maíces Tuxpeños (Caballero y Cervantes, 1990), Cónicos (Silva, 1992), Chalqueños (Herrera *et al.*, 2000; Romero *et al.*, 2002; Herrera *et al.*, 2004) y Jala (López *et al.*, 1995; Rice, 2004, Aguilar *et al.*, 2006). Estos trabajos han evidenciado el continuo morfológico del maíz, lo cual mejora la comprensión del parentesco en las poblaciones nativas, así como el conocimiento de la diversidad actual de poblaciones en peligro de extinción o en constante erosión genética; también se han enfocado a determinar la dinámica de la diversidad genética en complejo racial o nicho ecológico y entender porque se forman nuevas variantes de una raza (Aguilar *et al.*, 2006).

Sin embargo, la diversidad dentro de la mayoría de las razas no se han descrito en detalle, los trabajos de este tipo como los de mejoramiento genético se han concentrado principalmente en la región de Valles Altos Centrales, el Bajío (maíces subtropicales) y trópico de México, descuidando otras regiones y las área de transición. Una de estas razas poco estudiadas es el maíz Ancho, el cual fue reportado por Ortega (1979), siendo su principal característica el grano grande y ancho, con una mazorca con 8 a 10 hileras, por lo cual pertenece al Grupo Racial de Ocho Hileras (Sánchez *et al.*, 2000).

Se conoce que la mayoría de las poblaciones de maíz en poder de los agricultores son intermedias entre dos o más razas, en ese sentido en la diversidad dentro de una raza conviene distinguir que grupos pueden considerarse sub-razas y cuales variantes intermedias entre dos o más razas

Actualmente se ha reportado con una expansión en su distribución geográfica debido al sobre precio que obtiene en los mercados por su aprecio como ingrediente central del pozole (Hellin *et al.*, 2013). Diversos estudios han mencionado una extensión en su área de distribución geográfica original en los estados de Morelos y Guerrero hacía los estados de Jalisco, Michoacán, Puebla y Estado de México, entre 800 y hasta 2500 m de altitud en los valles altos de

México (Perales, 1998, Aragón *et al.*, 2005; Ron, 2006; CONABIO, 2011; Carrera, 2011; Aguilar y González, 2012; Carrera *et al.*, 2012).

Esta actual distribución del maíz Ancho, puede generar nuevas variantes de maíz con adaptación a una áreas ecológicas particulares que pueden construir razas o sub-razas diferentes por cruzamiento con las poblaciones locales. Aguilar y González (2012) reportan unas poblaciones categorizadas como un grupo racial llamado Valles Altos de Ocho Hileras en el Estado de México, sugieren que es el producto del cruzamiento entre Ancho con los maíces locales de la raza Chalqueño. Así mismo Carrera *et al.*, (2012) también reportan una nueva raza denominado Maizón de Chinicuila, y consideran como sus progenitores al maíz Ancho y al Tabloncillo Perla.

Debido a que no se ha descrito detalladamente a los maíces conocidos pluralmente como Ancho, no se puede asegurar que sus principales variantes constituyan nuevas razas, ya que pueden ser sub-razas dentro del maíz Ancho o variantes de un nivel taxonómico inferior.

El estudio de la diversidad entre poblaciones del maíz Ancho también puede generar información fundamental para el mejoramiento genético y ayudaría a la conservación *in situ* y el manejo en la conservación *ex situ* de esta raza y de los procesos de evolución bajo domesticación en los está inmersa. Por tanto esta investigación tiene como objetivo estudiar la estructura de la diversidad del maíz Ancho con base en caracteres morfológicos y origen geográfico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de estudiar la diversidad de maíz Acho en México se recurrió a caracterizar 69 colectas, del Dr. Fernando Castillo del Colegio de Postgraduados, del 2010 y se realizaron 26 colectas en el 2014. Las 95 colectas se proceden de los diferentes ambientes y áreas de distribución reportadas para el maíz Ancho, por estado proceden: 24 del estado de Morelos, 45 de Guerrero, 15 de Michoacán, ocho del Estado de México, dos de Tlaxcala y una de Oaxaca; además se colectaron dos maíces de la raza Pepitilla en Morelos, para usarlos como testigos dentro de los experimentos. Los materiales fueron ubicados en razas por el Dr. Rafael Ortega Paczka, Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo.

Las colectas fueron evaluadas y caracterizadas en dos ambientes contrastantes, que son representativos del área de distribución y origen de las colectas; Montecillos Edo. Méx., a una altitud de 2248 msnm en las coordenadas 19°28'7.38"N y 98°53'54.76"O, con una temperatura media anual de 15.2 °C y una precipitación media anual de 590 mm y un suelo tipo fozem arcilloso, en un clima templado semi-seco (C(w<sub>0</sub>)(w)) (García, 2005); y en Teloloapan Gro., a una altitud de 1622 msnm en las coordenadas 18°21'15.72"N y 99°51'58.98"O, con un clima semi-cálido subhúmedo (C)Aw<sub>1</sub>(w)) (García, 2005) con temperatura promedio de 21.5 °C y precipitación media anual de 1179 mm y un suelo de tipo regosol.

Los ensayos tuvieron un diseño de bloques al azar con tres repeticiones en las dos localidades; la unidad experimental fue de dos surcos de 0.80 x 5 m, con matas cada 0.5 m; se sembraron tres semillas por mata y después de la segunda labor se eliminó una planta de cada mata dejando 44 plantas por parcela, de las cuales se obtuvo una sub muestra de cinco plantas para mediciones morfológicas.. Este método se retomó de Romero (2000) y la determinación de los caracteres se hizo conforme a IBPGR (1991).

La preparación del terreno, las labores de cultivo, la aplicación de fertilizante, el control de malezas y el manejo de los ensayos, se realizó conforme a las que se

recomienda al productor en cada localidad. Las fechas de siembran fueron adecuadas por el tipo de agricultura practicada en cada localidad, por lo cual la siembra de Montecillos se realizó el 10 de mayo de 2014 y la de Teloloapan el 21 de junio de 2014; la cosecha se hizo el 8 y 9 de diciembre y el 21 de noviembre respectivamente.

Se midieron 33 caracteres conforme a IBPGR (1991) y con ellos se estimaron 10 relaciones de acuerdo con Herrera (1999) y Sánchez (1989), obteniendo un total de 43 caracteres con los cuales se realizó el estudio. Estos 43 caracteres fueron agrupados en: 11 de planta, 8 de espiga, 9 de mazorca, 11 de grano y 4 agronómicos, para valorar color se usó la variable luminosidad en el colorímetro Hunuter Lab. (Cuadro 1).

*Cuadro 7.- Caracteres por grupos de los ensayos de Montecillos y Teloloapan 2014. Tomados de acuerdo al método de IBPGR (1991)*

| <b>Caracteres de grano</b>                                  | <b>Unidades</b>    | <b>Caracteres de planta</b>                      | <b>Unidades</b> |
|---|--------------------|--|-----------------|
| Porcentaje de humedad de grano (PHUM)                       | %                  | Altura de planta (AP)                            | m               |
| Peso de 100 granos (PES100)                                 | gr                 | Altura de mazorca (AM)                           | m               |
| Volumen de 100 granos (VOL100)                              | cm <sup>3</sup>    | Días a floración femenina (FF)                   | días            |
| Densidad de grano (DENG)                                    | gr/cm <sup>3</sup> | Días a floración masculina (FM)                  | días            |
| Luminosidad de grano (L)                                    | L*                 | Hojas al primer cultivo (H1C)                    | #               |
| Espesor de grano (ESG)                                      | mm                 | Hojas arriba de la mazorca (HAM)                 | #               |
| Ancho de grano (AG)   | mm                 | Hojas debajo de la mazorca (HBM)                 | #               |
| Longitud de grano (LG)                                      | mm                 | Número de hojas (NH)                             | #               |
| Espesor de grano / longitud de grano (ESLG)                 | mm                 | Asincronía floral (AF)                           | días            |
| Espesor de grano / ancho de grano (ESAG)                    | mm                 | Altura de planta / número de hojas (APNH)        | m               |
| Ancho de grano / longitud de grano (ALG)                    | mm                 | Altura de mazorca / altura de planta (MP)        | m               |
| <b>Caracteres de espiga</b>                                 | <b>Unidades</b>    | <b>Caracteres de mazorca</b>                     | <b>Unidades</b> |
| Longitud de pedúnculo (LP)                                  | cm                 | Longitud de mazorca (LM)                         | cm              |
| Longitud de la parte ramificada (PR)                        | cm                 | Diámetro de mazorca (ANM)                        | cm              |
| Longitud de la rama central (RC)                            | cm                 | Diámetro de olote (ANOL)                         | cm              |
| Densidad de espiguillas (DE)                                | #                  | Número de hileras (NHL)                          | #               |
| Número de ramas en la espiga (RE)                           | #                  | Granos por hilera (GH)                           | #               |
| Longitud de espiga (LE)                                     | cm                 | Ancho de raquis (DR)                             | mm              |
| Longitud de la parte ramificada / Longitud de espiga (PRLE) | cm                 | Ancho de Medula (DM)                             | mm              |
| Longitud de pedúnculo / Longitud de espiga (PLE)            | cm                 | Diámetro de mazorca / longitud de mazorca (DMLM) | cm              |
|   |                    | Diámetro de olote / ancho de mazorca (DNODNM)    | cm              |
| <b>Caracteres agronómicos</b>                               |                    | <b>Unidades</b>                                  |                 |
| Mazorcas por planta (MZPL)                                  |                    | #  |                 |
| Porcentaje de desgrane (PDES)                               |                    | %  |                 |
| Proporción de olote (POL)                                   |                    | %  |                 |
| Rendimiento (REND)  |                    | Ton/ha   |                 |

Los valores medios de cada carácter por población fueron estandarizados restándoles la media de cada carácter y dividiéndolos entre su desviación estándar ( $Z_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_{.j}) / S_{.j}$ ), para evitar el problema ocasionado por las diferencias de escalas en las que se midieron. Sobre la matriz de datos estandarizados se realizó una descomposición de valores propios y vectores propios (Rawling, 1988), se usó la gráfica de correlaciones de las variables originales y los componentes principales, con la descomposición realizada; para permitir una representación visual de la estructura de la correlación entre las variables y la magnitud en que una variable aporta a la explicación de la varianza total de los datos.

Se eligieron las variables que no estuvieran correlacionadas y que aportaran la mayor magnitud en la explicación de la varianza global, con estos datos estandarizados se calculó el coeficiente de similitud por medio de la distancia euclidiana. Con la matriz de distancias se obtuvo un análisis de conglomerados a través del método de media aritmética no ponderada (UPGMA) (Sneath y Sokal, 1973). Para realizar todos los análisis estadísticos se ocupó el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2003) y el programa R versión 3.1.3 (R Core Team, 2015).

Para definir las variantes regionales las colectas se georeferenciaron y se analizó la relación de los grupos obtenidos en el dendrograma con el Modelos digital de elevación (INEGI, 2013) y en las capas de climas de Köppen modificado por García (CONABIO, 2008). Para ésto fue utilizado el programa Quantum Gis 2.8.1 de software libre (Quantum GIS Development Team, 2013).

Por último se generó la colección central de acuerdo a la metodología seguida por Herrera (1999) y Silva (1992); la cual consistió en: 1) determinar el tamaño óptimo de la colección, que de acuerdo a la sugerencia de Yonezawa *et al.*, (1995) fue constituida con el 25% de la colección total; 2) dividir la colecta total en grupos no traslapados con la ayuda del análisis de conglomerado y el de componentes principales; 3) determinar el número de entradas en la colección central, con base en la estrategia de proporcionalidad de Cochran (1977); 4) por último, se

seleccionaron las colectas con especial cuidado y sensibilidad en tratar de mantener representada la variabilidad, de acuerdo con los siguientes criterios: características agronómicas superiores mediante el análisis de promedios de colectas y representatividad de cada variante regional definida.

Con las colectas identificadas como colección central se cotejó su representatividad corriendo el análisis de conglomerados para comparar que los grupos fueran semejantes al agrupamiento original. Las características empleadas en este análisis fueron las mismas que se usaron en taxonomía numérica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Elección de las variables apropiadas

Para seleccionar las variables apropiadas que nos ayuden a develar la diversidad del maíz Ancho se utilizó la descomposición de valores propios y vectores propios para elegir las variables que aportaran la mayor explicación de la varianza (Cuadro 2) además la gráfica de correlaciones de las variables originales y los componentes principales para descartar aquellas que estuvieran altamente correlacionadas (Figura 1 y 2).

En las primeras dos columnas del Cuadro 2 podemos observar que el primer, segundo, tercer y cuarto valor propio de los componentes principales sintetizan el 25 %, 20 %, 10 % y 7 % de la varianza total, respectivamente, que explican en conjunto el 62 %. Los primeros 13 componentes principales, explican el 92 % de la varianza total.

En las últimas tres columnas del Cuadro 2 se presentan los coeficientes de determinación, los cuales se van acumulando por cada componente hasta que la última columna presenta la suma de los coeficientes de determinación de los tres componentes. Se puede observar que las variables que determinan en grado de importancia en el primer componente, con coeficiente de determinación  $\geq 0.5$ , son: a) caracteres agronómicos: porcentaje de olote, porcentaje de desgrane; b) caracteres de planta: floración femenina, floración masculina, hojas arriba de la mazorca, número de hojas; c) caracteres de mazorca: diámetro de mazorca, diámetro de mazorca / longitud de mazorca, diámetro de olote / diámetro de mazorca; d) caracteres de grano: longitud de grano y espesor de grano / longitud de grano.

Con la suma de los coeficientes de determinación del primer y segundo componente se incluyen las variables: a) caracteres de grano: peso de 100 granos, volumen de 100 granos, ancho de grano, ancho de grano / longitud de grano, espesor de grano / ancho de grano y b) caracteres de mazorca: diámetro de mazorca. Al considerar la acumulación de los primeros tres componentes se pueden agregar el espesor de grano dentro de las variables de mayor grado de importancia.

Cuadro 8.- Valores propios con su proporción de la varianza total, vectores propios y la proporción acumulativa de la variación explicada por cada variable en los primeros tres componentes principales de la caracterización de 95 colectas de maíz Ancho, Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero 2014.

| Valores propios               | Proporción de la var. total | Variable   | Vector propio |             |             | Proporción acumulativa |       |       |
|-------------------------------|-----------------------------|--|---------------|-------------|-------------|------------------------|-------|-------|
|                               |                             |  | 1°            | 2°          | 3°          | CP1                    | CP2   | CP3   |
| <b>Caracteres agronómicos</b> |                             |  |               |             |             |                        |       |       |
| 10.8570                       | 0.2585                      | Mazorcas por planta                                  | -0.04720612   | -0.06439665 | -0.12882249 | 0.024                  | 0.059 | 0.136 |
| 8.4462                        | 0.2011                      | Porcentaje de desgrane                               | -0.21972785   | -0.11842196 | 0.23839968  | 0.524                  | 0.643 | 0.905 |
| 4.6127                        | 0.1098                      | Proporción de olote                                  | 0.21988749    | 0.11778329  | -0.23856861 | 0.525                  | 0.642 | 0.905 |
| <b>Caracteres de planta</b>   |                             |  |               |             |             |                        |       |       |
| 3.2600                        | 0.07762                     | Altura de planta                                     | 0.09382708    | 0.1668303   | 0.25908886  | 0.096                  | 0.331 | 0.640 |
| 2.2739                        | 0.05414                     | Altura de mazorca                                    | 0.16306855    | 0.09695187  | 0.24369796  | 0.289                  | 0.368 | 0.642 |
| 2.1931                        | 0.05222                     | Días a floración femenina                            | 0.22840927    | 0.10730778  | 0.15155933  | 0.566                  | 0.664 | 0.770 |
| 1.4887                        | 0.03545                     | Días a floración masculina                           | 0.23292305    | 0.09536901  | 0.13820682  | 0.589                  | 0.666 | 0.754 |
| 1.3364                        | 0.0318                      | Hojas al primer cultivo                              | -0.05051496   | 0.01543887  | 0.18256666  | 0.028                  | 0.030 | 0.183 |
| 1.0845                        | 0.02582                     | Hojas arriba de la mazorca                           | 0.2334663     | 0.05342324  | 0.18161756  | 0.592                  | 0.616 | 0.768 |
| 1.0020                        | 0.02386                     | Hojas debajo de la mazorca                           | 0.15030645    | 0.08099451  | 0.01485156  | 0.245                  | 0.301 | 0.302 |
| 0.8279                        | 0.01971                     | Número de hojas                                      | 0.24154389    | 0.06873021  | 0.15842127  | 0.633                  | 0.673 | 0.789 |
| 0.7046                        | 0.01678                     | Asincronía floral                                    | 0.0265091     | 0.07691602  | 0.09988853  | 0.008                  | 0.058 | 0.104 |
| 0.6214                        | 0.0148                      | Altura de planta / número de hojas                   | -0.12620251   | 0.10827213  | 0.13325866  | 0.173                  | 0.272 | 0.354 |
| 0.5487                        | 0.01306                     | Altura de mazorca / altura de planta                 | 0.19744692    | -0.02853264 | 0.14709925  | 0.423                  | 0.430 | 0.530 |
| <b>Caracteres de espiga</b>   |                             |  |               |             |             |                        |       |       |
| 0.4698                        | 0.01119                     | Longitud de pedúnculo                                | -0.12380107   | 0.00487028  | 0.0152105   | 0.166                  | 0.167 | 0.168 |
| 0.3495                        | 0.00832                     | Longitud de la parte ramificada                      | 0.12670046    | 0.14581614  | 0.12546537  | 0.174                  | 0.354 | 0.426 |
| 0.3288                        | 0.00783                     | Longitud de la rama central (RC)                     | 0.02487644    | -0.12105204 | -0.18416106 | 0.007                  | 0.130 | 0.287 |
| 0.2708                        | 0.00645                     | Densidad de espiguillas                              | 0.04826845    | -0.22251294 | 0.16242225  | 0.025                  | 0.443 | 0.565 |
| 0.2374                        | 0.00565                     | Número de ramas en la espiga                         | 0.1588558     | 0.00884023  | 0.21940585  | 0.274                  | 0.275 | 0.497 |
| 0.1992                        | 0.00474                     | Longitud de espiga                                   | -0.00892094   | -0.02476157 | 0.0080351   | 0.001                  | 0.006 | 0.006 |
| 0.1752                        | 0.00417                     | Longitud de la parte ramificada / Longitud de espiga | 0.13884007    | 0.13924455  | 0.13983084  | 0.209                  | 0.373 | 0.463 |
| 0.1430                        | 0.00341                     | Longitud de pedúnculo / Longitud de espiga           | -0.16015421   | -0.00299912 | 0.0637214   | 0.278                  | 0.279 | 0.297 |

Cuadro 2.- Continuación...

| Valores propios              | Proporción de la var. total | Variable                                  | Vector propio |             |             | Proporción acumulativa |       |       |
|------------------------------|-----------------------------|---|---------------|-------------|-------------|------------------------|-------|-------|
|                              |                             |   | 1°            | 2°          | 3°          | CP1                    | CP2   | CP3   |
| <b>Caracteres de mazorca</b> |                             |   |               |             |             |                        |       |       |
| 0.1357                       | 0.00323                     | Longitud de mazorca                       | 0.16841485    | 0.15915605  | -0.01463684 | 0.308                  | 0.522 | 0.523 |
| 0.1191                       | 0.00284                     | Diámetro de mazorca                       | -0.18204129   | 0.18224449  | 0.07584619  | 0.360                  | 0.640 | 0.667 |
| 0.0847                       | 0.00202                     | Diámetro de olote                         | 0.04668608    | 0.21977312  | -0.20144756 | 0.024                  | 0.432 | 0.619 |
| 0.0616                       | 0.00147                     | Número de hileras                         | 0.05808911    | -0.2230028  | 0.0821109   | 0.037                  | 0.457 | 0.488 |
| 0.0450                       | 0.00107                     | Granos por hilera                         | 0.18549433    | -0.07317397 | 0.12023938  | 0.374                  | 0.419 | 0.485 |
| 0.0444                       | 0.00106                     | Ancho de raquis                           | -0.0307054    | 0.24605393  | -0.16014818 | 0.010                  | 0.522 | 0.640 |
| 0.0290                       | 0.00069                     | Ancho de Medula                           | 0.00423263    | 0.15495785  | -0.20793739 | 0.000                  | 0.203 | 0.402 |
| 0.0165                       | 0.00039                     | Diámetro de mazorca / longitud de mazorca | -0.24143717   | 0.01259205  | 0.0841404   | 0.633                  | 0.634 | 0.667 |
| 0.0110                       | 0.00026                     | Diámetro de olote / Diámetro de mazorca   | 0.21455251    | -0.00490964 | -0.23844464 | 0.500                  | 0.500 | 0.762 |
| <b>Caracteres de grano</b>   |                             |   |               |             |             |                        |       |       |
| 0.0055                       | 0.00013                     | Porcentaje de humedad de grano            | 0.11012087    | 0.20711384  | 0.16707079  | 0.132                  | 0.494 | 0.623 |
| 0.0045                       | 0.00011                     | Peso de 100 granos                        | -0.19442582   | 0.2522358   | 0.00749737  | 0.410                  | 0.948 | 0.948 |
| 0.0035                       | 0.00008                     | Volumen de 100 granos                     | -0.18840747   | 0.2615743   | 0.02137074  | 0.385                  | 0.963 | 0.965 |
| 0.0022                       | 0.00005                     | Densidad de grano                         | 0.0580982     | -0.20772928 | -0.08466709 | 0.037                  | 0.401 | 0.434 |
| 0.0019                       | 0.00005                     | Luminosidad de grano                      | -0.02984857   | 0.19757547  | 0.17644247  | 0.010                  | 0.339 | 0.483 |
| 0.0017                       | 0.00004                     | Espesor de 10 granos                      | 0.02953751    | 0.25999136  | -0.16549068 | 0.009                  | 0.580 | 0.707 |
| 0.0016                       | 0.00004                     | Ancho de 10 granos                        | -0.14309389   | 0.28832304  | -0.01080195 | 0.222                  | 0.924 | 0.925 |
| 0.0008                       | 0.00002                     | Longitud de 10 granos                     | -0.24649836   | 0.08765675  | 0.18254096  | 0.660                  | 0.725 | 0.878 |
| 0.0004                       | 0.00001                     | Espesor de grano / longitud de grano      | 0.22034194    | 0.07584007  | -0.23160078 | 0.527                  | 0.576 | 0.823 |
| 0.0001                       | 0.00000                     | Espesor de grano / ancho de grano         | 0.17365468    | -0.18794234 | -0.05110466 | 0.327                  | 0.626 | 0.638 |
| 0.0000                       | 0.00000                     | Ancho de grano / longitud de grano        | 0.06233706    | 0.26166192  | -0.16614784 | 0.042                  | 0.620 | 0.748 |

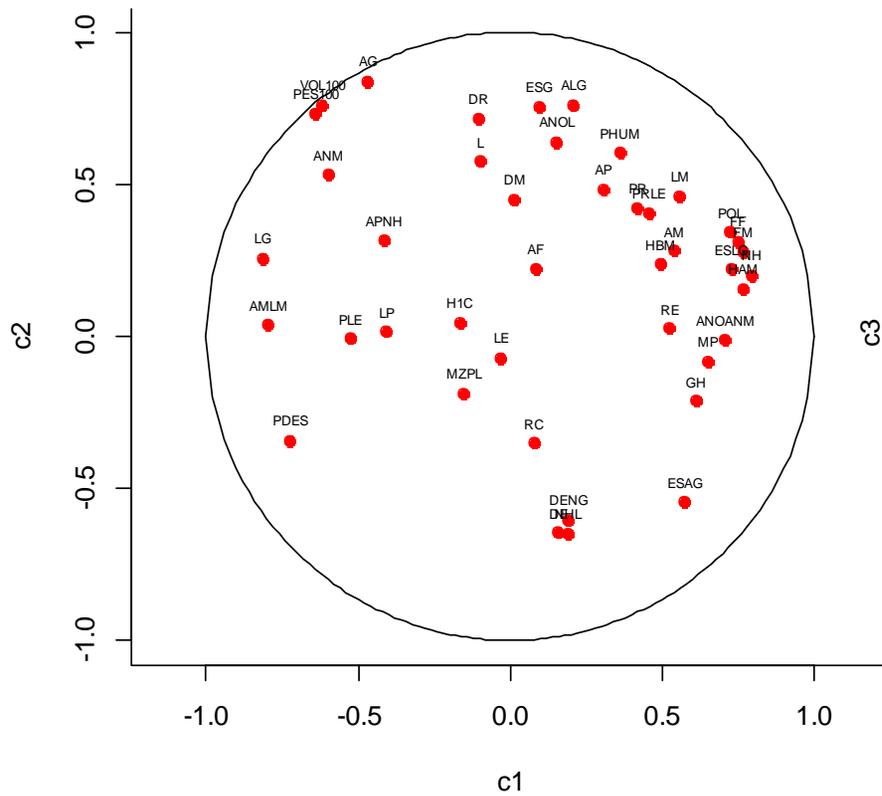


Figura 1.- Gráfica de correlaciones de las variables originales en el primero y segundo componente principal, obtenidos a partir de datos morfológicos de 95 colectas de maíz Ancho caracterizadas en Montecillos, Estado de México y Teloloapan Guerrero.

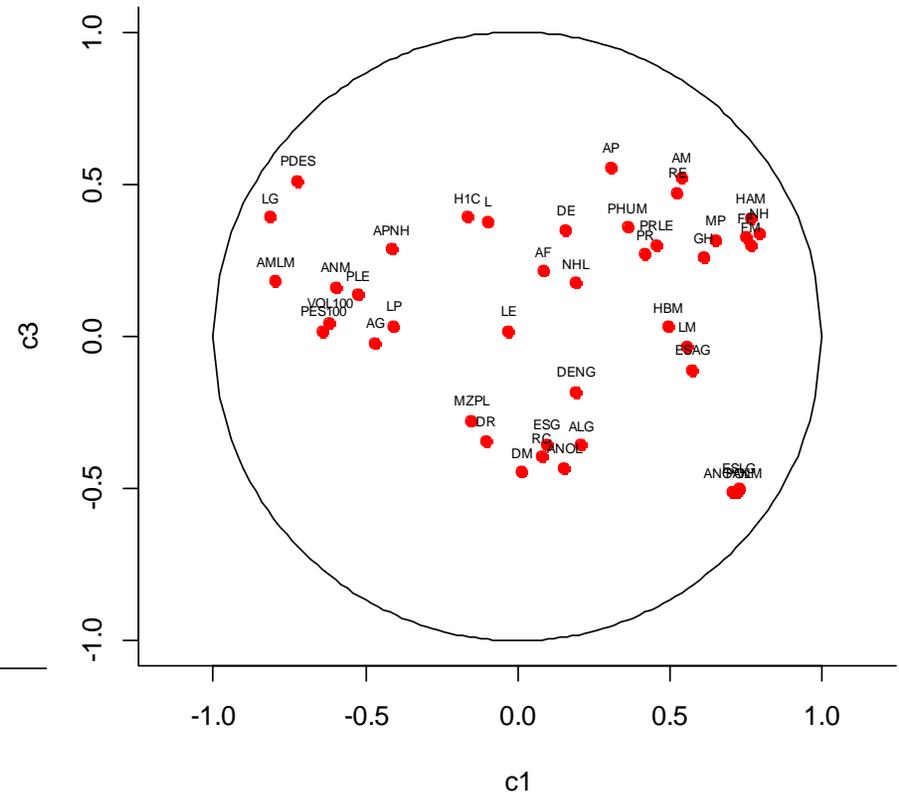


Figura 2.- Gráfica de correlaciones de las variables originales en el primer y tercer componente principal, obtenidos a partir de datos morfológicos de 95 colectas de maíz Ancho caracterizadas en Montecillos, Estado de México y Teloloapan Guerrero.

Varias de las variables trabajadas presentan fuerte correlación, la mayoría con un significado biológico muy claro. Esto se presenta en las Figuras 1 y 2, donde se puede observar el valor de la varianza explicada por cada variable, al estar más cerca de la circunferencia, y la correlación entre las variables, al formar grupos aglutinados de variables.

Se unió la información del Cuadro 2 con la representación visual de las gráficas de los componentes principales (Figura 1 y 2), para considerar las variables más relevantes y eliminar la colinealidad. De este modo se consideró al número de hojas, días a floración femenina, porcentaje de desgrane, diámetro de mazorca, diámetro de mazorca / longitud de mazorca, diámetro de olote / diámetro de mazorca, volumen de 100 granos, ancho de 10 grano, longitud de 10 grano, espesor de grano / longitud de grano, luminosidad de grano, espesor de grano / ancho de grano y ancho de grano / longitud de grano como las variables mínimas apropiadas para la clasificación del maíz Ancho.

Los caracteres seleccionados difieren con investigaciones anteriores (Sánchez, 1989; Herrera, 1999; Nájera, 2010; Aguilar y González, 2012) al no considerar caracteres de la espiga y número de hileras en la mazorca, debido a que dichos trabajos caracterizaron distintas razas, lo que incrementó la variabilidad en estos caracteres. En esta investigación no se presentó gran variabilidad en dichos caracteres porque la mayoría de los maíces pertenecieron a una misma raza.

### **Análisis de agrupamiento**

Con las 13 variables seleccionadas se procedió a estudiar la diversidad morfológica del maíz Ancho por medio del análisis de componentes principales y el análisis de conglomerados con las 95 colectas estudiadas.

En la Figura 3 se muestra la proporción de la varianza de cada componente con respecto a la varianza global de las 13 variables originales. Los dos primeros componentes principales explican el 76.29 % y los tres primeros explican el 86.20 % de la variación contenida en las variables originales.

El primer componente principal esta asociado principalmente a la forma de la mazorca, longitud de 10 grano y volumen de grano (diámetro de mazorca, diámetro de mazorca / longitud de mazorca, diámetro de olote / diámetro de mazorca, longitud de grano, espesor de grano / longitud de grano y volumen de 100 granos). El segundo componente está determinado principalmente por la forma del grano y porcentaje de desgrane (ancho de 10 grano, ancho de grano / longitud de grano, espesor de grano / ancho de grano y porcentaje de desgrane). El tercer componente presenta mayor asociación con los caracteres vegetativos y luminosidad de grano (días a floración femenina, número de hojas y luminosidad de grano) (Cuadro 3). Por lo tanto la diversidad dentro de las colectas de maíz Ancho está determinada principalmente por la variación en grano y mazorca.

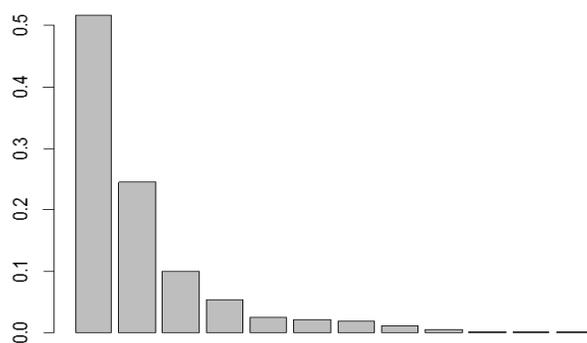


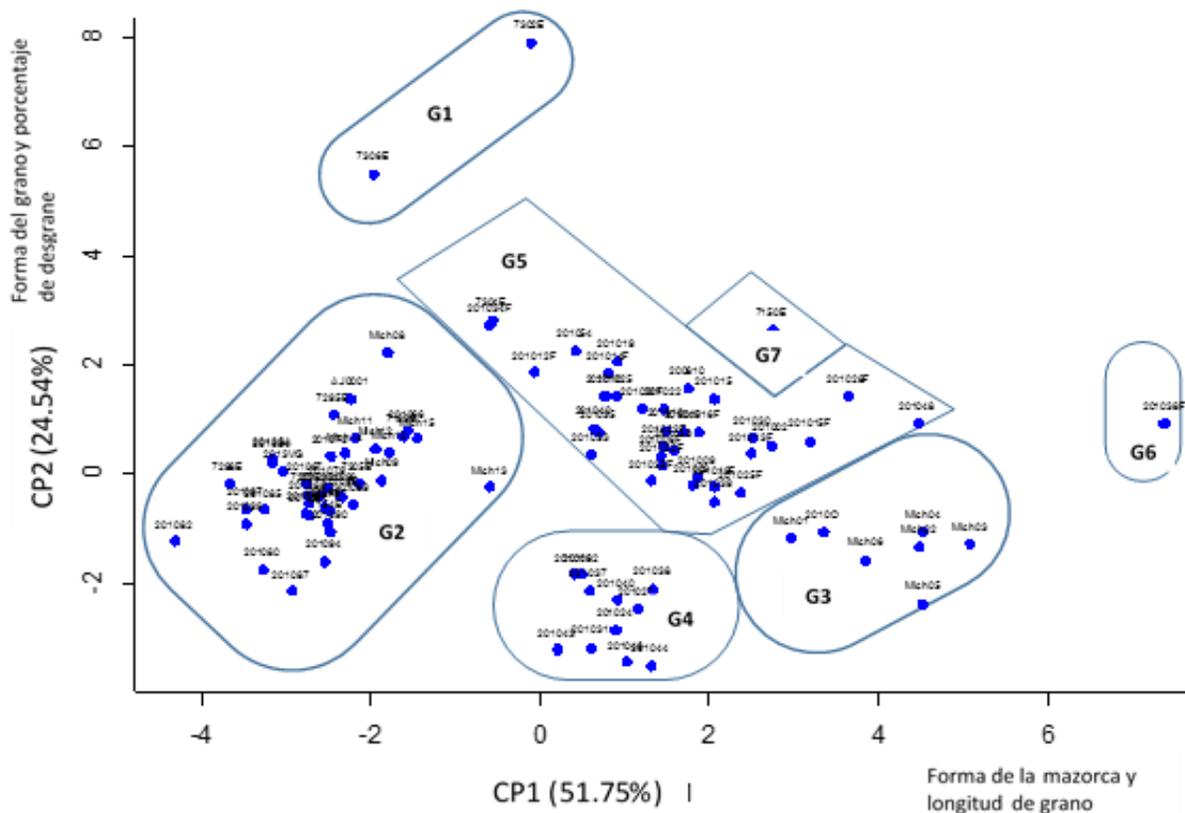
Figura 19.- Varianza explicada por cada componente principal.

Cuadro 9.- Vectores propios de los tres primeros componentes principales del análisis para 95 colectas de maíz Ancho

| Variable                                  | PC1    | PC2    | PC3    |
|---|--------|--------|--------|
| Porcentaje de desgrane                    | -0.283 | 0.307  | 0.069  |
| Días a floración femenina                 | 0.210  | -0.232 | 0.547  |
| Número de hojas                           | 0.216  | -0.161 | 0.528  |
| Diámetro de mazorca                       | -0.326 | -0.131 | 0.127  |
| Diámetro de mazorca / longitud de mazorca | -0.330 | 0.115  | 0.092  |
| Diámetro de olote / diámetro de mazorca   | 0.334  | -0.118 | -0.135 |
| Volumen de 100 granos                     | -0.306 | -0.326 | -0.060 |
| Luminosidad de grano                      | -0.130 | -0.298 | 0.435  |
| Ancho de 10 granos                        | -0.250 | -0.422 | -0.129 |
| Longitud de 10 granos                     | -0.380 | 0.018  | 0.171  |
| Espesor de grano / longitud de grano      | 0.321  | -0.254 | -0.175 |
| Espesor de grano / ancho de grano         | 0.281  | 0.274  | 0.175  |
| Ancho de grano / longitud de grano        | 0.053  | -0.518 | -0.271 |

En la Figura 4 se presenta la dispersión de las 95 colectas en los dos primeros componentes principales; se observan dos grupos extremadamente separados, los cuales señalan el área de variación racial. En el extremo superior, el maíz pepitilla (G1) presentó el grano más largo y delgado, en el extremo derecho; el maíz conejo (G6) mostró la mazorca más delgada y alargada.

Los maíces Anchos presentan una distribución continua entre poblaciones, en el CP1 van desde mazorcas medianas y gruesas donde se encuentran las colectas de Morelos, Michoacán y Estado de México (G2), hasta mazorcas alargadas y delgadas, donde se ubican las colectas de Michoacán provenientes de Chinicuila (G3). En el CP2, se observa un continuo en la forma del grano, entre grupos, que van desde los granos más anchos y cuadrados del G4 y G3, a los granos ligeramente alargados, presentados por el grupo G7; Sin embargo la continuidad en la forma de grano se presenta dentro de algunos grupos, como es el caso del G2 y el G5.



G1= Pepitilla; G2= Anchos de Morelos, Michoacán y Estado de México; G3= Maíz de Chinicuila; G4= Anchos blancos de Guerrero; G5= Anchos azules y amarillos de Guerrero; G6= Conejo; G7= Valles altos de ocho hileras

Figura 20.- Dispersión de 95 colectas de maíz Acho con base en los dos primeros componentes principales del análisis de 13 variables de la caracterización en Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero 2014.

con el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA), de las 95 colectas caracterizadas por las medias de las 13 variables seleccionadas en los dos ambientes y en el Cuadro 4 se muestra el promedio de las 13 variables seleccionadas por grupo delimitado en el dendrograma.

Los complejos raciales se identifican a la distancia 8 del dendrograma (Figura 6), donde se puede observar dos complejos: los Maíces de Ocho Hileras y los Pepitillas que CONABIO (2010) los agrupa en el complejo “Dentados Tropicales”. Al considerar una distancia de 6, se ubica el nivel de raza para las colectas caracterizadas, determinando los siguientes cuatro grupos correspondientes a razas (Cuadro 4):

**PEPITILLA:** Este maíz fue utilizado como testigo (Figura 5) por lo tanto se debe considerar que las características descritas corresponden a los dos materiales evaluados, y no a toda la diversidad de Pepitillas presente en México. Al igual que el maíz Ancho existe un gran continuo en diversidad de este maíz que no se ha descrito.

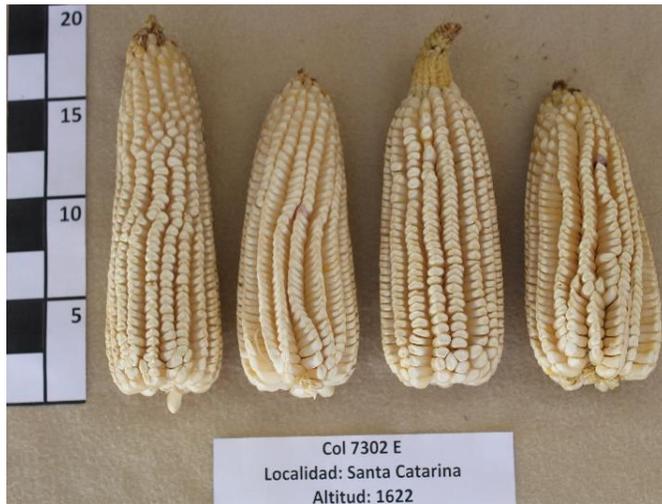


Figura 21.- Colecta 7302, perteneciente al grupo de maíz

Este maíz destacó por poseer el grano menos ancho (AG de 8.02 mm), más largo (LG de 16.63 mm) y el segundo en menor volumen (33 cm<sup>3</sup>); presentó ESLG, ESAG y ALG de 0.228, 0.481 y 0.485, respectivamente, lo que explica que su grano es aplanado, delgado y alargado, de forma de una pepita, de estas características recibe su nombre. Su mazorca es de forma cónica, gruesa (con una relación DM/LM de 0.349) y la segunda más ancha (5.25 cm). Este maíz presenta olote delgado (con una relación DO/DM de 0.477) y ligero (con un PDES de 0.91).

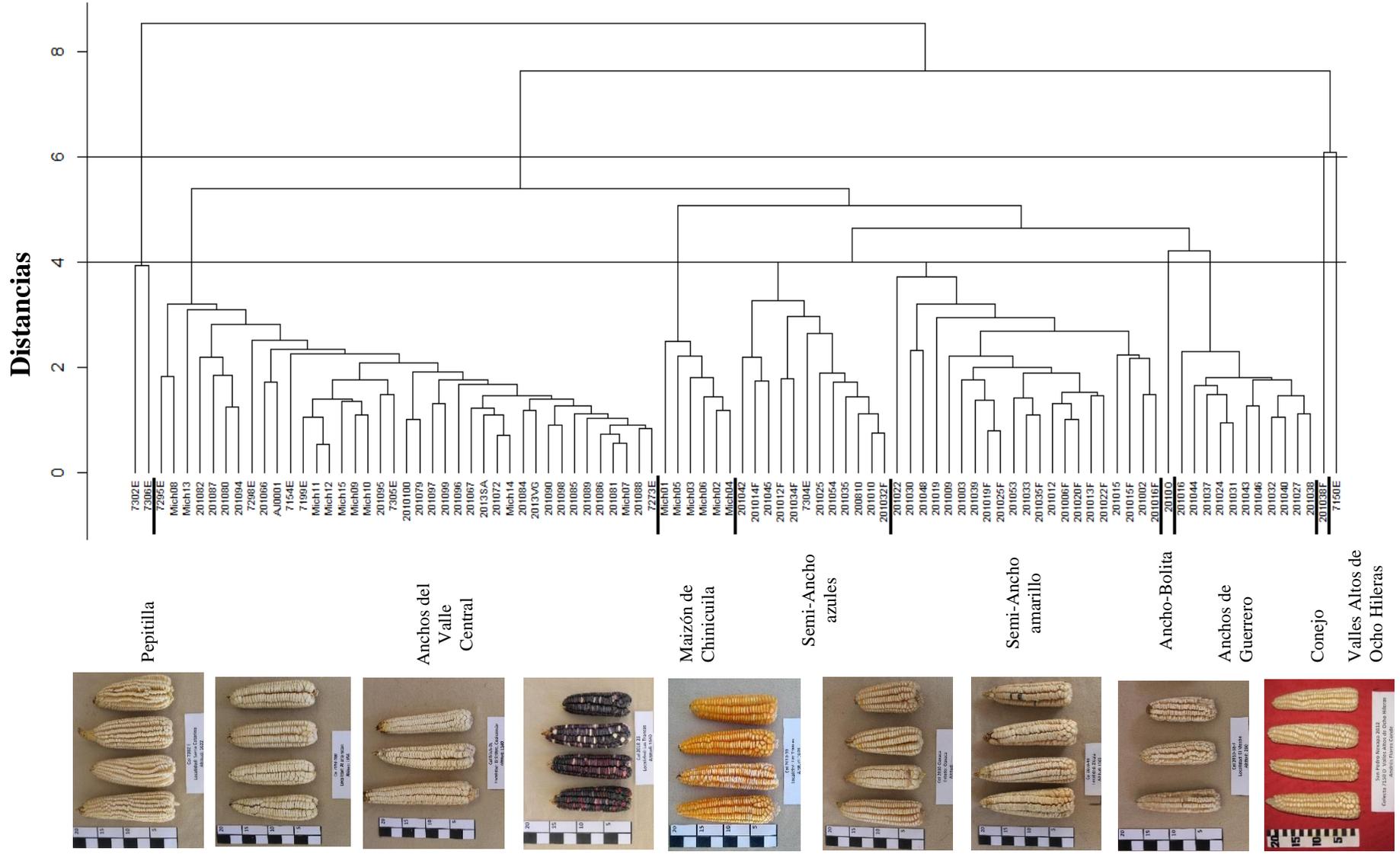
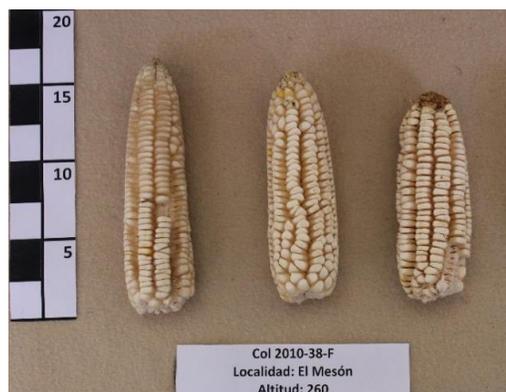


Figura 22.- Dendrograma de 95 colectas de maíz Ancho, basado en la media de 13 variables, según el análisis de agrupamiento UPGMA. Montecillos, Estado de México y Teloapan, Guerrero

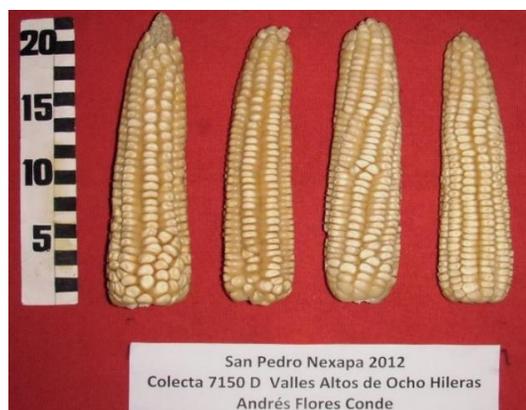
Cuadro 10.- Promedio de nueve grupos identificados en 95 colectas de maíz Ancho para 13 caracteres.

|                              | FF días | ANM cm | AMLM cm | PDES prop | VOL100 cm <sup>3</sup> | DO/DM cm | NH # | AG mm | LG mm | ESLG mm | ESAG mm | ALG prop | L     |
|------------------------------|---------|--------|---------|-----------|------------------------|----------|------|-------|-------|---------|---------|----------|-------|
| Pepitilla                    | 103     | 5.25   | 0.349   | 0.91      | 33.0                   | 0.477    | 14.8 | 8.02  | 16.6  | 0.228   | 0.481   | 0.485    | 61.10 |
| Anchos                       | 101     | 5.88   | 0.315   | 0.88      | 67.6                   | 0.501    | 13.4 | 14.57 | 16.1  | 0.278   | 0.309   | 0.905    | 66.62 |
| Maizón de Chinicuila         | 116     | 4.15   | 0.210   | 0.83      | 42.8                   | 0.583    | 16.4 | 12.69 | 12.4  | 0.358   | 0.350   | 1.025    | 64.74 |
| Semi-Ancho azules            | 95      | 4.61   | 0.280   | 0.87      | 44.1                   | 0.562    | 13.2 | 11.73 | 13.8  | 0.306   | 0.361   | 0.850    | 23.96 |
| Semi-Ancho amarillo          | 105     | 4.60   | 0.256   | 0.85      | 47.6                   | 0.583    | 14.5 | 12.13 | 13.6  | 0.333   | 0.375   | 0.894    | 58.95 |
| Ancho-Bolita                 | 101     | 4.68   | 0.286   | 0.80      | 47.4                   | 0.666    | 12.9 | 12.42 | 12.1  | 0.405   | 0.392   | 1.028    | 64.67 |
| Anchos de Guerrero           | 104     | 5.00   | 0.272   | 0.83      | 67.9                   | 0.605    | 14.5 | 15.10 | 14.3  | 0.354   | 0.336   | 1.058    | 66.98 |
| Conejo                       | 119     | 3.56   | 0.292   | 0.80      | 25.6                   | 0.771    | 15.9 | 9.51  | 11.1  | 0.392   | 0.448   | 0.876    | 61.66 |
| Valles Altos de Ocho Hileras | 102     | 3.20   | 0.250   | 0.88      | 42.5                   | 0.715    | 13.3 | 11.25 | 14.2  | 0.318   | 0.406   | 0.791    | 61.21 |

**CONEJO:** Este maíz se caracteriza por ser de ciclo biológico corto aproximadamente de 40 días sin embargo presentó la floración femenina a los 119 días porque su sitio de origen es a los 260 m, en un ambiente de altas temperaturas, lo que alargo su ciclo, presentó el segundo grano menos ancho (9.51 mm), el más pequeño en longitud (11.18 mm) y con el menor volumen de 100 granos (25.6 cm<sup>3</sup>). La mazorca fue la segunda más delgada (3.56 cm), tuvo el olote más pesado y más grueso. (Figura 7).



**VALLES ALTOS DE OCHO HILERAS:** Este maíz se colectó en la región Chalco-Amecameca a 2600 msnm y fue denominado falso Ancho. En los resultados obtenidos no se agrupó con los maíces Anchos, ni con alguna otra raza evaluada. Presentó un grano considerablemente ancho pero no tanto como los maíces Anchos (11.25 mm), su grano fue alargado con una relación ancho-largo de 0.791. Su mazorca fue la más delgada (3.20 cm) y presentó el olote más delgado de todos los materiales evaluados. (Figura 8).



**ANCHOS:** En este grupo se ubican todas las poblaciones que fueron denominadas, por sus características morfológicas como maíces Anchos. En el dendrograma este grupo se divide en dos grupos a la distancia de cinco, que contiene tres sub-razas (Figura 6).

**Ancho del Valle Central:** (Figura 9) Este grupo considera todas las colectas de Achos de Morelos, Estado de México, Tlaxcala y Michoacán. Estas colectas presentaron un grano ancho, largo y de mayor volumen con un AG de 14.57 mm, un LG de 16.15 mm y un VOL100 de 67.6



Figura 25.- Colecta 2010-100, maíz del grupo Ancho.

cm<sup>3</sup>, además de tener una alta luminosidad de grano (66.62); su grano es alargado y plano con una relación de ALG de 0.905 y de ESLG de 0.278; estos maíces presentaron las mazorcas más gruesa de todos los materiales, con 5.88 cm de diámetro, son mazorcas predominantemente gruesas con un relación DM/LM de 0.315 y con olote ligero ya que presenta un PDES de 0.88.

El segundo grupo se consideran todas las colectas de Guerrero, Oaxaca y Maizón de Chinicuila; se caracteriza por ser maíces de grano grande y mazorcas alargadas. Sin embargo este grupo se puede desglosar en cinco grupos a la distancia 4 del dendrograma (Figura 6), los cuales son (Cuadro 4):

**Maizón de Chinicuila:** Este maíz fue reportado por Carrera *et al.*, (2012), como una raza nueva en el occidente de México por diferenciarse de los Anchos de Michoacán. Sin embargo en los resultados obtenidos en esta investigación se concuerda en que es un grupo morfológicamente diferentes pero a nivel de sub-raza, ya que si es diferente a los Anchos de Michoacán pero tiene una mayor similitud con los Anchos de Guerrero (Figura 10).

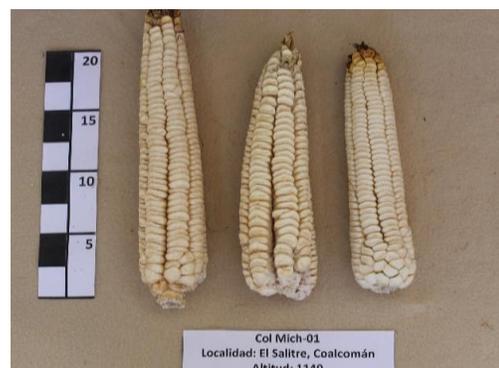


Figura 26.- Colecta Mich-01, Maíz del grupo Maizón de Chinicuila.

Esta maíz se caracteriza por ser tardío con 116 días a la floración femenina, por lo cual también presentó el mayor número de hojas (16.4), presenta una mazorca delgada y alargada que se refleja en la relación DM/LM de 0.210; también se caracterizó por tener un grano ancho, largo (12.69 de AG y 12.48 de LG) y de forma cuadrada al tener una relación de ALG de 1.025; lo que concuerda con lo reportado por Carrera et al., (2012).

**Anchos de Guerrero:** Esta sub-raza presento la mayor variación y se dividió en tres cuatro subgrupos a la distancia cuatro en el dendrograma (Figura 6).

**SEMI-ANCHO AZUL:** Este grupo de maíces morfológicamente se ubicó dentro de los maíces Anchos, aunque no presenta un grano tan ancho como las poblaciones típicas, esto puede deberse a que se ha categorizado, tal vez por preferencia del mercado, al maíz Ancho como el maíz de grano blanco con grano ancho para pozole; por lo tanto los agricultores le dan

preferencia a la selección de grano ancho a los maíces blancos y la siembra en terrenos planos mientras que los azules y amarillos en laderas; sin embargo, en el continuo en diversidad se observa que este grupo se desplaza a las transiciones con otras razas que se siembran en la región (Grupo G5 en la Figura 1). Estos poblaciones presentaron el ciclo biológico más corto, de 95 días a la floración femenina, con 13.2 hojas por plantas; su grano presentó 11.73 mm de ancho, 13.85 mm de longitud, 44.1cm<sup>3</sup> de volumen de 100 granos y fue el grano con menor luminosidad (23.96); la mazorca midió 4.61 en diámetro.



Figura 27.- Colecta 2010-25, maíz perteneciente al grupo Semi- Ancho azul.

**SEMI-ANCHO AMARILLO:** Este

grupo de maíces forma parte del continuo de los maíces Achos (Figura 12), como el grupo Semi-Ancho azul, además de que ayuda a fortalecer la hipótesis de que los maíces blancos son los principales para ser seleccionados por ancho de grano; ya que la anchura de grano se desplazó de menos en las

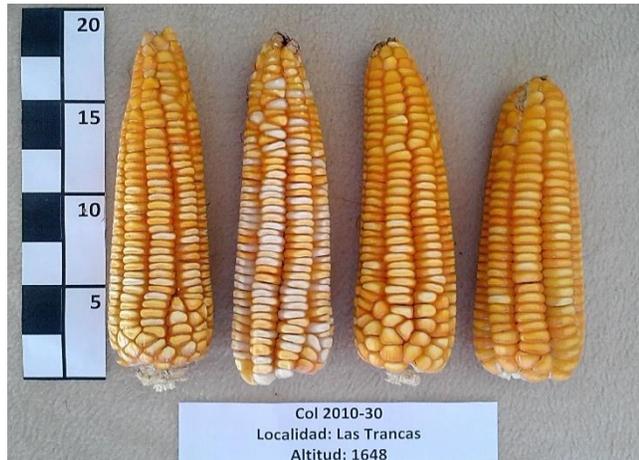


Figura 28.- Colecta 2010-30, maíz del grupo Semi-Ancho amarillo

colectas de granos con más color amarillo, a más en las colectas de granos con color blanco.

Este grupo de maíz se demoró 106 días para llegar a la floración femenina y sus plantas tuvieron 14.5 en promedio del número de hojas; el grano tuvo 12.13 mm de ancho, 13.65 mm de longitud, 47.6 cm<sup>3</sup> de volumen de 100 granos y una luminosidad intermedia (58.95); la mazorca presento 4.60 cm de diámetro.

**ANCHO-BOLITA:** (Figura 13) Este

maíz llegó a la floración femenina a los 101 días, obtuvo el menor número de hojas por planta con 12.9 hojas; presentó un grano no muy ancho ni muy largo con 12.42 en AG, 12.13 LG y un VOL100 de 47.4, presentó el grano más boludo y cuadrado lo que se refleja en 0.405 de ESLG y 1.028 de



Figura 29.- Colecta 2010-Oaxaca, maíz Ancho-Bolita.

ALG; La mazorca no fue muy gruesa con 4.68 cm (DM); sin embargo, si fue algo boluda lo que se refleja en 0.286 de la relación DM/LM; presentó un olote grueso y pesado con 0.666 en DO/DM y presentando el PDES más bajo (0.80) de todas las colectas caracterizadas.

**Anchos blancos:** Este grupo está constituido por las poblaciones, de grano muy ancho, provenientes de Guerrero; se caracterizó por presentar el grano más ancho de todos los grupos (15.10 mm), con una longitud 14.35 mm, por lo tanto la forma del grano fue cuadrada y gruesa, casi boluda; también presento el mayor volumen de 100



Figura 30.- Colecta 2010-40, maíz Ancho típico de Guerrero.

granos (67.9 cm<sup>3</sup>); el grano fue el de mayor luminosidad (66.98). La mazorca fue la tercera más ancha y muy alargada (5.00 cm de diámetro y 0.272 de la relación diámetro de mazorca/ longitud de mazorca), con un olote pesado y grueso. (Figura 14).

Se puede observar en el Cuadro 4 que lo ancho del grano incrementa a la par que su luminosidad, lo que indica que los agricultores seleccionan para grano ancho preferentemente de color más blanco, tal vez por razones culturales o de mercado. Así los maíces del grupo Ancho y Ancho de Guerrero son los de mayor luminosidad y grano muy ancho.

### **Variantes regionales de maíces Anchos**

En la Figura 15 se presenta el modelo digital de elevación (INEGI, 1991) con provincias fisiográficas de México (Cervantes et al., 1992) y la distribución geográfica de los grupos de diversidad presentados en el dendrograma (Figura 6). Las colectas de maíces Anchos se encuentran distribuidas en el Eje Neovolcánico Transmexicano con temperaturas frías, bajas precipitaciones y clima generalmente templado; y en la Sierra Madre del Sur con temperaturas altas, altas precipitaciones y un clima cálido sub húmedo. Esta distribución forma dos grandes grupos situados en el dendrograma a la distancia 5.

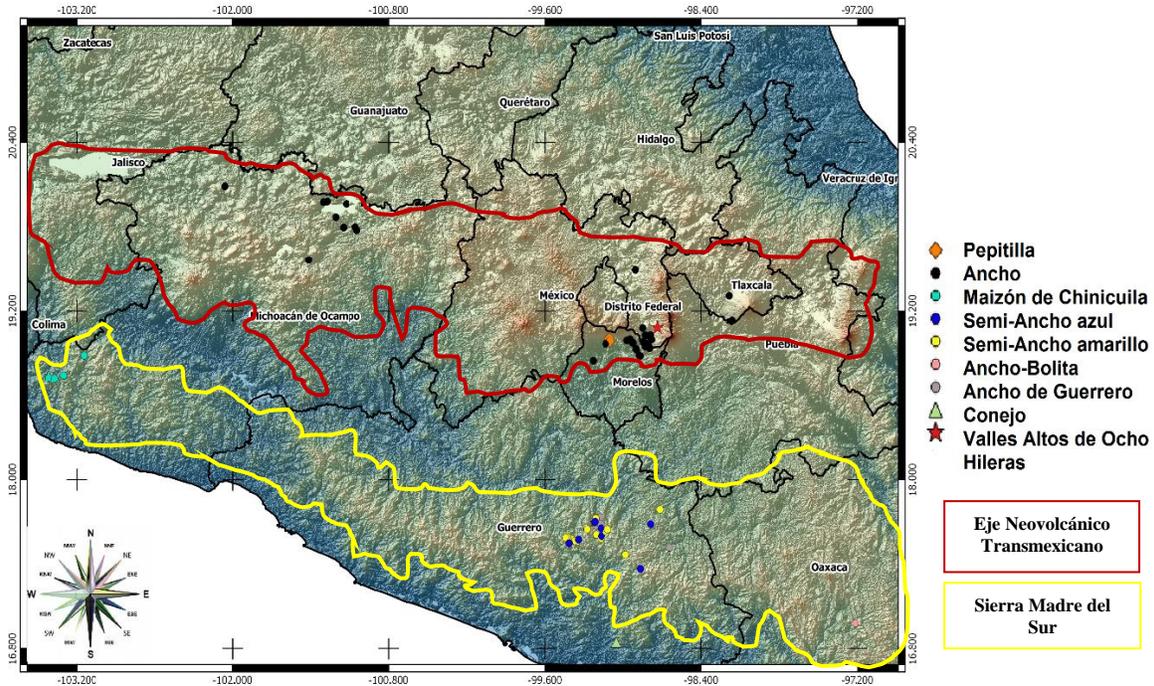


Figura 31.- Distribución geográfica de los grupos de diversidad del maíz Ancho en México, con información del modelo digital de elevación y provincias fisiográficas de México, (INEGI, 1991; Cervantes et al., 1992)

En el Eje Neovolcánico Transmexicano se sitúan las colectas del grupo Ancho y en la Sierra Madre del Sur se ubican los grupos Maízón de Chinicuila en la parte de Michoacán; los maíces Semi-Ancho azul, Semi-Ancho amarillo, Anchos de Guerrero se sitúan en la región Centro y Montaña de Guerrero; y el maíz Ancho-Bolita en Oaxaca. Por lo tanto se pueden definir dos variantes regionales bien definidas de maíz Ancho: 1) los Anchos de Valles centrales de México que son aquellos con grano grande, plano y alargado; con mazorca ancha y cilíndrica. 2) los Anchos de la Sierra Madre del Sur que son aquellos con grano grande y cuadrado; con mazorcas alargadas y semi-cónicas.

Esta clasificación que incluye información del ambiente donde se cultivan los maíces, ayuda a entender porque las colectas de Michoacán se dividen estos dos grupos, ya que es el único estado que contiene las dos provincias fisiográficas en su territorio. Además se puede suponer que la extensión de los maíces Anchos para el occidente de México puede tener estas dos vías de dispersión, generando sub-razas, como es el caso del Maízón de Chinicuila.

## **Colección central**

La colección central del maíz Ancho se generó eligiendo colectas tipo de los diferentes grupos identificados en este trabajo, con el propósito de tomarlas como referencia para futuras investigaciones.

Se seleccionaron colectas que con una mínima repetitividad representen la diversidad morfológica y adaptación ambiental de las 95 poblaciones de maíz caracterizadas, para lo cual se eligió el 30% del total las poblaciones de acuerdo a lo sugerido por Yoneszawa *et al.*, (1995). Para la elaboración de la colección central no se tomaron en cuenta el grupo Pepitilla, Conejo y Valles Altos de Ocho Hileras por ser maíces control en la caracterización.

Para obtener la mínima repetitividad se identificaron 67 conjuntos (C) diferentes a una distancia de 0.15 del análisis de conglomerados (Figura 6) donde los seis grupos de diversidad de maíz Ancho están bien representados. El grupo de maíz Ancho está representado por el C1 al C25, el grupo Maizón de Chinicuila del C26 al C30, el grupo de Semi-Ancho azul del C31 al C40, el grupo de Semi-Ancho amarillo del C41 al C58, el grupo de Ancho Bolita por el C59 y el grupo de Anchos de Guerrero de C60 al C67.

Los números de entradas a incluir a la colección central se determinaron por medio de la estrategia de proporcionalidad, tomando en cuenta los conjuntos de diversidad. Las entradas por grupo fueron: Ancho con ocho colectas, Maizón de Chinicuila, dos colectas, Semi-Ancho azul tres colectas, Semi-Ancho amarillo por seis colectas, Ancho Bolita una colecta y sub-razas Anchos de Guerrero tres colectas.

Al tener los números de entradas de cada grupo, se tuvo especial cuidado y sensibilidad al seleccionar los materiales a incluir en la colección central, los cuales debían ser representativos a los ambientes contrastantes, además de tener un buen comportamiento agronómico.

Se seleccionaron 23 colectas que formaron la colección central las cuales se presentan en la Figura 16, donde se incluyen un maíz Pepitilla, Conejo y Valles Altos de Ocho Hieras como método de control en las relaciones de las 23 colectas basados en la media de 13 caracteres, seleccionados anteriormente, según el método UPGM. Donde se puede observar que el comportamiento es similar a lo obtenidos en el análisis de las 95 colectas (Figura 6).

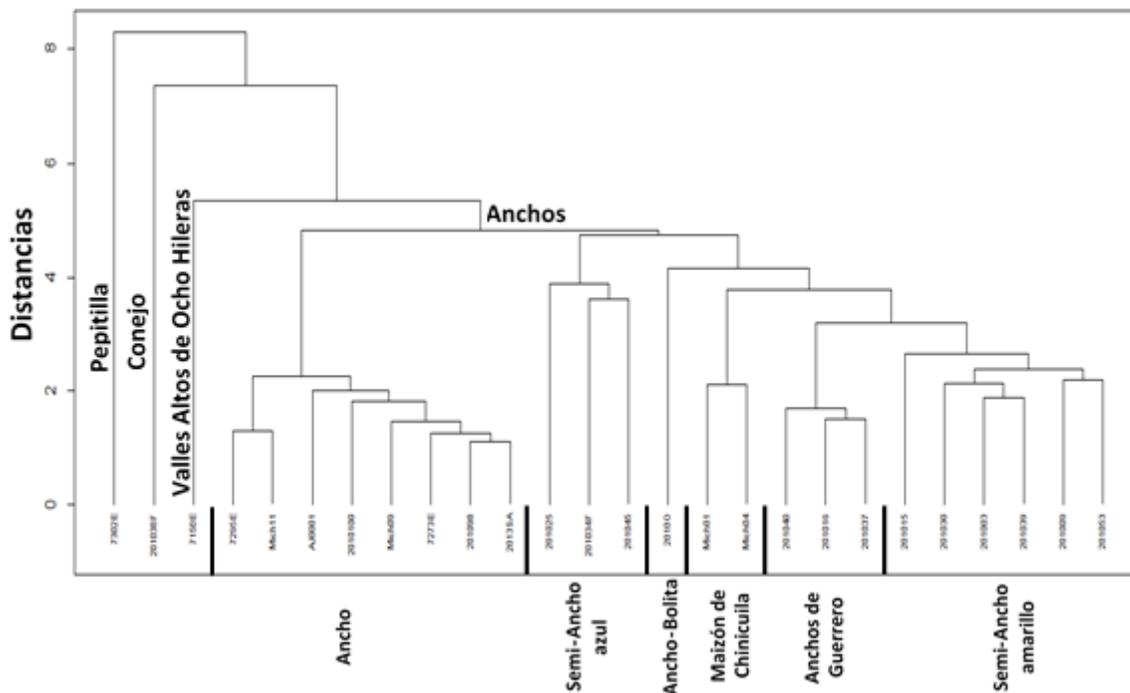


Figura 32.- Análisis de clúster de la colección central, donde se muestra el comportamiento basado en 13 caracteres, según el método UPGM, de las colectas seleccionadas para representar la diversidad de 95 colectas de maíz Ancho.

## CONCLUSIONES

En el caso del complejo correspondiente a la raza Ancho y muestra típicas de otras razas incluidas en este estudio, los caracteres de mazorca y grano son fundamentales para explicar la variabilidad dentro de la raza Ancho y la espiga y número de hileras son características fundamentales para hacer la distinción entre razas.

Dentro de la raza Ancho se distinguen, por el ambiente en el que se desarrollan, dos grandes grupos que están determinados por las regiones fisiográficas de México. Los Anchos de Valles centrales de México que tiene grano grande, plano y alargado; con mazorca gruesa y cilíndrica; y los Anchos de la Sierra Madre del Sur que tienen grano grande y cuadrado; con mazorcas alargadas y semi-cónicas.

Asimismo se pueden distinguir tres agrupamientos que corresponden a tres posibles sub-razas: Ancho Estricto; Ancho, Maizón de Chinicuila y Ancho de Guerrero; así como tres agrupamientos, al mismo nivel de disimilitud, que muestran infiltración considerable de otras razas: Semi-Ancho azul, Semi-Ancho amarillo y Ancho-Bolita.

La mayor parte de sub-razas y agrupamientos de Anchos con considerable infiltración de otras razas se encuentra en la Sierra Madre del Sur, específicamente en la región Centro y Montaña de Guerrero.

El nivel de ancho del grano está relacionado con el color del grano, siendo los más anchos los blancos, después los amarillos y por último los azules. Esta situación se da debido a las costumbres culturales o presiones de mercados que se reflejan en la selección que hace el agricultor.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar C., J. A., Carballo C., A., Castillo G., F., Santacruz V., A., Mejia C., A., Crossa H., J. y Baca C., G. 2006. Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México* 32 (1): 57- 66.
- Aguilar J., J. A. y J.J. González R. 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. Pp.104
- Anderson, E. y H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays* I. Their recognition and classification. *Annals of Missouri Botanical Garden* 29:69-88.
- Aragón C., F., S. Taba, F. H. Castro G., J. M. Hernández C., J. M. Cabrera T., L. Osorio A. y N. Dillanes R. 2005. In situ Conservation and use of local maize races in Oaxaca, México: A participatory and decentralized approach. En: Taba S. (ed), *Latin American Maize Germoplasm Conservation: Regeneration, In situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding; Proceedings of a Workshop held at CIMMYT, Abril 7-10, 2003*. México, D.F. p.26-38.
- Benz, B. F. 1986. Taxonomy and evolution of Mexican maize. Tesis Ph.D., University of Wisconsin, Madison. 433p.
- Boege S., E. 2010. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. INAH-Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. 342 p.
- Caballero H., F. y T. Cervantes S. 1990. Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño. *Agrociencia, serie Fitotecnia* 1(2):43-63.
- Carrera V., J. A., J. Ron P. y M. M. Morales R. 2012. Cinco Nuevas Razas de Maíz (*Zea mays* L spp *mays*) en el Occidente de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. Pp. 144.

- Carrera V., J. A., J. Ron P., A. A, Jiménez C., M. M. Morales R., F. Márquez S., L. Sahagún C., J. J. Sesmas G. y M. Sitt M. 2011. Razas de maíz de Michoacán de Ocampo. Su origen, relaciones fitogeográficas y filogenéticas. COECYT-Michoacán. CROMOGRAFF. Morelia, Michoacán. 150 p.
- Cochran, W. G. 1977. Sampling Techniques. 3rd edition. Wiley, New York. 428p.
- CONABIO. 2008. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado el 15/03/2015. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no).
- 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.  
[http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6\\_Reuniones\\_Talleres/Tabla%20razas\\_marzo%202010.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_Reuniones_Talleres/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”. Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.  
<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. México, D. F.
- Hellin J., A. Keleman, D. López, L. Donnet, y D. Flores. 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(6):315-328.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. Agrociencia 5 (1): 3–30

- Herrera C., B. E. 1999. Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados. 140 p.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C. y M. M. Goodman. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38(2):191-206.
- Herrera, C., E.B; F., Castillo. G; J.J., Sánchez, G; J.M., Hernández, C; R.A., Ortega, P y M., Major, G. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: Caso la raza Chalqueño. *Agrociencia*. 23:335-353.
- IBPGR. 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, México City/Intenational Board for Plant Genetic Resources. Rome. 29 p.
- INEGI. 2013. Continúo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Consultado el 28/10/2013. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>.
- Kato Y., T. A., C. Mapes, L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Pp. 115.
- Lopez R., A.; Kato Y., A. T. and Castillo G., F. 1995. Karyotypic characterization of the race Jala of maize. *Maydica* 40:233-244.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler y J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.
- Nájera C., L. A. 2010. Estudio de la diversidad genética de los maíces nativos de Coahuila, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ciencias en Fitomejoramiento. 164p.
- Ortega P., R. 1979. Reestudio de las razas Mexicanas de maíz. Informe Anual. Campo Experimental de la Mesa Central. INIA. Chapingo, México.

- Ortega P., R. 1985. Variedades y razas Mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Traducción abreviada Ph. D. Thesis. N.I. Vavilov National Institute of Plants. Leningrad, U.S.S.R. 22p.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad del maíz en México. En: Sin Maíz No Hay País. G Esteva, C. Marielle (eds). Culturas Populares de México. D.F., México. pp:123-154.
- Perales R., H. R., 1998, "Conservation and Evolution of maize in Amecameca and Cuautla valleys of Mexico", PhD. Thesis. University of California, Davis. 350 p.
- Pressoir G. y Berthaud J. 2004. Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92: 95–101.
- Quantum GIS Development Team. 2013. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Rawling, J. O. 1988. Applied Regression Analysis: A Research Tool. Wadsworth and Brooks/Cole Advanced Books & Software, Pacific Grove, CA. 553 p.
- Rice, E. B. 2004. Conservation and change: a comparison of *in-situ* and *ex-situ* conservation of Jala maize germplasm in Mexico. Ph D. Dissertation. Cornell University. Ithaca, N.Y., USA. 120p.
- Romero P., J. 2000. Diversidad genética y heterosis en cruces de poblaciones de maíz de la raza Chalqueño en los Valles Altos de México. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad en Genética. 153 p.
- Romero P., J.; Castillo G., F. y Ortega P., R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: grupos genéticos, diversidad genética y heterosis. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 25 (1): 107-115.

- Ron P., J., J. J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martín L., M. M. Morales R., L. de la Cruz L., S. A. Hurtado de la P., S. Mena M. y J. G. Rodríguez F. 2006. Maíces nativos del Occidente de México I. Colectas 2004. *Scientia-CUCBA* 8(1):1-139.
- Ruiz C., J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez, G., R. Ron P., D. R. González E., G. Medina G., y Holland. B. J. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sei.* 48:1502-1512.
- Sánchez G, J.J. 1989. Relationships among the Mexican races of maize. Tesis Ph.D., North Carolina State University, Raleigh. 187p.
- Sánchez J, J., M. M. Goodman y C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Economic Botany.* 54(1): 43–59.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Silva C., E. G. 1992. Estudio agronómico y taxonómico de colecciones de la raza de maíz cónico, su colección central y perspectivas de uso en mejoramiento genético. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Centro de Genética. Motecillos, Estado de México, México. 116 p.
- Sneath, P. H. A, y R. R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman, San Francisco. 359 p.
- Vavilov, N. I. 1926: Studies on the origin of cultivated plants. (Russian) *Bulletin of Applied Botany and Plant Breeding*, 14: 1–245.
- Wellhausen E.J., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P.C. Mangelsdorf. 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.
- Yonezawa, K., T. Nomura, H. Morishima. 1995. Sampling strategies for use in stratified germplasm collections. In: Hodgkin T, Brown AHD, Hintum van ThJL, Morales EAV (eds) *Core collections of plant genetic resources*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp 35–53.

### CAPÍTULO III. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE MAÍCES ANCHOS DE MÉXICO.

#### RESUMEN

Los tipos de maíces (*Zea mays* L.) de usos especiales alcanzan un sobreprecio en mercados especializados, en especial los maíces azules y anchos pozoleros; por lo cual diversos agricultores están introduciendo estos materiales en sus parcelas. El maíz Ancho está ampliando su área de distribución por ser una alternativa de mejorar ingresos sin cambiar de cultivo, para muchos agricultores; lo cual mantiene la dinámica evolutiva del maíz en México. Sin embargo, entre las diferentes poblaciones de esta raza existe diversidad en muchos aspectos, entre ellos en morfología, adaptabilidad y en capacidad de rendimiento. Con los propósitos de identificar el grupo de origen de semilla nativa de maíz Ancho y las poblaciones individuales sobresalientes en rendimiento y comportamiento agronómico, en este trabajo se evaluaron, del 2010 al 2014, a 91 colectas de poblaciones de maíces Anchos nativos de México colectados en los Estados de Michoacán, Morelos, Guerrero, Estado de México, Tlaxcala y Oaxaca. La evaluación se llevó a cabo bajo condiciones de temporal y bajo el diseño experimental de bloques al azar. Los maíces de Michoacán tuvieron un comportamiento sobresaliente en los dos ambientes a diferencia de los materiales de Guerrero y Estado de México, los cuales fueron sobresalieron sólo en su ambiente de origen. Los maíces Anchos de Morelos tuvieron una respuesta muy diferente ya que presentaron poblaciones sobresalientes, tanto en Teloloapan como en Montecillo y otros en los dos ambientes. Estos resultados evidencian la gran diversidad dentro del maíz en México, la cual es un patrimonio fitogenético con un importante valor cultural y económico por su propósito estratégico alimentario.

**Palabras claves:** *Zea mays*, maíz Ancho, rendimiento, evaluación agronómica, maíces nativos.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios de la diversidad de maíz de México están orientados a conocerla, ampliarla o precisarla (Aguilar *et al.*, 2006); los más recientes consideran 59 razas clasificadas en cuatro grupos de acuerdo a la similitud de sus características morfológicas y climáticas del sitio de origen (Ortega, 1985; Benz, 1986; Sánchez, 1989; Ruiz *et al.*, 2008). Dentro de la enorme diversidad de maíz, se han formado y seleccionado razas y poblaciones para usos especiales (Ortega, 2003).

Uno de los tipos de maíz de usos especiales es el maíz Ancho, el cual se caracteriza por su mazorca de 8 a 10 hileras y grano grande y ancho; esta raza se cultiva principalmente por su grano que se usa principalmente para pozole (platillo tradicional) (CONABIO, 2010). Su área de cultivo se distribuye en Guerrero, Morelos, Jalisco, Michoacán, Puebla y Estado de México, localizándose entre los 800 hasta 2500 m de altitud, esencialmente en áreas de transición. En comparación con el maíz común, el Ancho goza de un considerable sobreprecio; en 2010 se reportó un sobreprecio de 50 % en el Estado de México, 15.4 % en Morelos y hasta 114.7 % en Guerrero (Hellin *et al.*, 2013) por lo que es más rentable para los agricultores, lo que ha incrementado el número de interesados en cultivarlo. En varios de los territorios donde se cultiva esta raza de maíz, en la actualidad se observan modificaciones importantes en la diversidad genética presente a causa del intercambio, flujo genético y experimentación de nuevas semillas (Kato *et al.*, 2009).

El maíz Ancho prevalece en pequeños valles y áreas de fisiografía accidentada con climas semicálidos húmedos, cálidos subhúmedos y templados subhúmedos, en fisiografía accidentada y pequeños valles (Gómez *et al.*, 2013), en una gama de microclimas que generan adaptación específica en cada uno de ellos. Estas áreas son sembradas con poblaciones nativas de Anchos por su excelente adaptación y no existen muchas opciones de maíz Ancho mejorado debido a que los trabajos de mejoramiento genético se han concentrado principalmente en la región de Valles Altos, el Bajío y la región tropical de México, con menor atención

al área de transición. La primera variedad mejorada de maíz Ancho en México fue liberada por Gómez *et al.* en el 2013.

Los maíces de la raza Ancho generalmente presentan problemas agronómicos como son; porte alto de planta y mazorca, baja calidad de raíz y tallo, alto índice de plantas sin mazorca y pudrición de mazorca (Aguirre y García, 2012). Para conservar estos recursos y mejorarlos es necesario construir estrategias en conjunto de fitomejoradores y productores, con base en el patrimonio genético de maíz que existe en las comunidades (Zambrano, 2013); el papel del fitomejorador consistirá en aplicar técnicas útiles para el mejoramiento de las variedades criollas con la selección de semillas aplicada por los productores (Louette y Smale, 1996).

Para brindar apoyo a los agricultores interesados en maíces Anchos nativos en los distintos ambientes y condiciones de la agricultura tradicional, es conveniente evaluar su potencial agronómico y detectar poblaciones sobresalientes mediante evaluación agronómica. Los objetivos de este trabajo fueron, identificar el grupo de origen de semilla nativa de maíz Ancho que tiene mejor comportamiento agronómico en dos ambientes contrastantes, así como comparar el rendimiento y seleccionar poblaciones sobresalientes en los ambientes de evaluación.

## MATERIALES Y METODOS

El material biológico consistió de 91 poblaciones de maíz Ancho colectadas entre 2010 y 2014 en los estados de Morelos, Guerrero, Michoacán, Estado de México, Tlaxcala y Oaxaca; áreas de distribución del maíz Ancho; así como de dos poblaciones de maíces Pepitilla y uno de la raza Conejo, que fueron usados como testigos dentro de los experimentos. Los materiales fueron clasificados en razas por el Dr. Rafael Ortega Paczka, Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo.

Las 95 poblaciones fueron evaluadas en dos ambientes contrastantes y representativos del área de distribución del maíz Ancho; Montecillos, Edo. Méx., en las coordenadas 19°28'7.38"N y 98°53'54.76"O a una altitud de 2248 m, con una temperatura media anual de 15.2 °C y una precipitación pluvial media anual de 590 mm, en un clima templado semi-seco (C(w<sub>0</sub>)(w), García, 2005), y en Teloloapan Gro., en las coordenadas 18°21'15.72"N y 99°51'58.98"O a altitud de 1622 m, con clima semicálido subhúmedo (AC w<sub>1</sub>(w), García, 2005) con temperatura promedio de 21.5 °C y precipitación media anual de 1179 mm.

El diseño experimental de los ensayos fue bloques al azar con tres repeticiones en los dos ambientes; con parcela útil en dos surcos de 5 m de largo y 0.80 m de ancho, con matas de tres plantas a cada 0.5 m; después de la segunda labor se eliminó una planta de cada mata dejando 44 plantas por parcela. Las prácticas agrícolas en que se condujeron los experimentos estuvieron dentro de las recomendadas en cada localidad; las siembras en Montecillos y Teloloapan se llevaron a cabo el 10 de mayo y el 21 de junio de 2014, respectivamente; las cosechas tuvieron lugar el 9 de diciembre y el 21 de noviembre, respectivamente.

Los variables registrados por parcela fueron: rendimiento de grano (REND), días a floración masculina (FLMA), floración femenina (FLFE), altura de planta (ALPL), altura de mazorca (ALMZ), porcentaje de acame de tallo (PACT), porcentaje de mazorcas podridas (PMP), mazorcas por planta (MZPL), calificación de mazorca (CM), longitud de la mazorca (LM), diámetro de la mazorca (DMZ), porcentaje de

desgrane (PDES), peso de 100 granos (PES100) y volumen de 100 granos (VOL100). Este método se retomó de Romero (2000) y la determinación de las variables se hizo conforme a IBPGR (1991).

Para un análisis las poblaciones de maíces Anchos se clasificaron en nueve grupos diferentes como sigue: los originarios de Tlaxcala, Morelos, Estados de México y Oaxaca; los de Michoacán se dividieron en maíces Anchos y maíces de Chinicuila (Carrera et al., 2012), y los de Guerrero se dividieron en Anchos de blancos, Anchos amarillos y Anchos azules; esto se basó en las costumbres culturales o de mercados, ya que se ha categorizado al de color blanco como Ancho pozolero. Un grupo adicional estuvo integrado por las poblaciones testigos. Con los datos experimentales de cada ambiente se hicieron análisis de varianza individuales por localidad y un análisis combinado con los dos ambientes. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM (SAS Institute, 2003) y las medias entre grupos de colectas, calculadas como media armónica, mediante la prueba de Tukey.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados por grupos

Hubo diferencias significativas entre grupos de diversidad del maíz Ancho, para los caracteres evaluados y en los ambientes analizados; estos resultados evidencian la gran diversidad genética que se encuentra las poblaciones de maíz nativo de tipo Ancho en México. El comportamiento promedio en los ambientes por grupo, se presenta en el Cuadro 1.

El grupo testigo Pepitilla fue el de mayor rendimiento con  $5.61 \text{ t ha}^{-1}$  seguido del grupo de Michoacán con  $5.44 \text{ t ha}^{-1}$ , como el maíz Ancho de mayor rendimiento, seguido por los maíces de Tlaxcala, Estado de México, y los Amarillos de Guerrero con 4.85, 4.33 y  $4.21 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. Los grupos de Morelos y Blancos de Guerrero presentaron menor rendimiento con 3.58 y  $3.57 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. Al menos parte de la reducción del rendimiento se debió al porcentaje de mazorcas podridas y plantas sin mazorca (jorras); sin embargo, la respuesta no fue homogénea dentro de grupos; El grupo con mayor número de plantas sin mazorca fue el maíz de Chinicuila, no se presentaron grupos con más de una mazorca por planta (cuateo).

El grupo con menor número de días en la floración femenina y masculina fueron los Azules de Guerrero (98.26 y 94.09 días), ésto se reflejó en el porcentaje de humedad de grano al momento de la cosecha registrando 18.29 %, también este grupo mostró el porte de planta más bajo con 2.57 m. Los maíces de Chinicuila, Michoacán fueron los de mayor ciclo de vida, ya que presentaron los mayor días a las floraciones (115.94 y 110.88 días) con 35.21 % de humedad de grano a la cosecha.

Martín *et al.* (2008) reporta en maíces Anchos, un porcentaje de acame de tallo de 28 hasta 36 %; en contraste en este estudio se registró sólo 8.46 % en el grupo de Tlaxcala hasta 14.34 % en los Azules de Guerrero, estos resultados son semejantes a los obtenidos por Herrera *et al.* (2013) quienes registraron un 10 % de acame en este tipo de maíz.

Cuadro 11.- Promedios para 15 caracteres de los grupos de poblaciones de maíz Ancho en México por origen geográfico. Montecillos, Estado de México y Teloloapan, Guerrero, 2014

| GRUPO            | REND<br>ton/ha | FLFE<br>días   | FLMA<br>días  | ALPL<br>m    | ALMZ<br>m    | PACT<br>%     | PHUM<br>%                 | PMP<br>%      |
|------------------|----------------|----------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------|
| <b>Anchos</b>    |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Tlaxcala         | 4.852          | 100.500        | 95.333        | 3.000        | 1.833        | 8.417         | 26.148                    | 14.531        |
| Edo. Mex.        | 4.332          | 100.833        | 95.000        | 3.000        | 1.900        | 10.117        | 25.920                    | 25.154        |
| Morelos          | 3.588          | 102.069        | 97.264        | 2.814        | 1.536        | 10.136        | 24.725                    | 18.324        |
| <i>Michoacán</i> |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Michoacán        | 5.448          | 99.148         | 95.333        | 2.852        | 1.519        | 10.837        | 22.004                    | 12.880        |
| Chinicuila       | 2.708          | 115.944        | 110.889       | 3.067        | 2.000        | 11.061        | 35.219                    | 14.313        |
| Oaxaca           | 3.920          | 100.667        | 96.667        | 2.333        | 1.000        | 10.200        | 20.338                    | 5.826         |
| <i>Guerrero</i>  |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Blancos          | 3.574          | 104.455        | 99.394        | 2.988        | 1.776        | 11.255        | 27.137                    | 17.196        |
| Amarillos        | 4.212          | 105.500        | 100.467       | 2.943        | 1.823        | 13.568        | 22.189                    | 11.785        |
| Azules           | 4.001          | 98.262         | 94.095        | 2.576        | 1.438        | 14.348        | 18.294                    | 12.330        |
| <b>Testigos</b>  |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Pepitilla        | 5.614          | 102.833        | 97.167        | 3.000        | 1.767        | 18.900        | 20.205                    | 13.363        |
| Conejo           | 1.373          | 119.333        | 114.000       | 2.333        | 1.467        | 25.967        | 26.540                    | 12.096        |
| <b>Media</b>     | <b>3.958</b>   | <b>103.207</b> | <b>98.421</b> | <b>2.853</b> | <b>1.661</b> | <b>12.097</b> | <b>23.717</b>             | <b>15.090</b> |
| <b>DMS 0.05</b>  | <b>1.144</b>   | <b>3.680</b>   | <b>3.262</b>  | <b>0.201</b> | <b>0.263</b> | <b>11.469</b> | <b>4.642</b>              | <b>2.078</b>  |
| GRUPO            | CM             | MZPL<br>#      | LM<br>cm      | DMZ<br>cm    | PDES<br>%    | PES100<br>g   | VOL100<br>cm <sup>3</sup> |               |
| <b>Anchos</b>    |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Tlaxcala         | 7.667          | 0.830          | 16.340        | 5.260        | 0.899        | 78.900        | 67.400                    |               |
| Edo. Mex.        | 6.917          | 0.830          | 16.260        | 5.105        | 0.889        | 76.100        | 67.000                    |               |
| Morelos          | 7.153          | 0.892          | 16.470        | 5.261        | 0.880        | 80.769        | 70.587                    |               |
| <i>Michoacán</i> |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Michoacán        | 7.778          | 0.938          | 16.793        | 4.958        | 0.886        | 71.178        | 60.022                    |               |
| Chinicuila       | 6.833          | 0.759          | 19.803        | 4.138        | 0.828        | 48.375        | 42.594                    |               |
| Oaxaca           | 8.000          | 1.040          | 16.520        | 4.680        | 0.804        | 58.800        | 47.400                    |               |
| <i>Guerrero</i>  |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Blancos          | 7.152          | 0.884          | 18.715        | 5.076        | 0.831        | 78.709        | 67.945                    |               |
| Amarillos        | 7.583          | 0.901          | 18.044        | 4.602        | 0.855        | 58.898        | 47.611                    |               |
| Azules           | 7.095          | 0.969          | 16.788        | 4.582        | 0.864        | 53.226        | 43.667                    |               |
| <b>Testigos</b>  |                |                |               |              |              |               |                           |               |
| Pepitilla        | 7.833          | 1.000          | 15.080        | 5.250        | 0.910        | 41.900        | 33.000                    |               |
| Conejo           | 4.000          | 0.860          | 12.120        | 3.560        | 0.804        | 31.200        | 25.600                    |               |
| <b>Media</b>     | <b>7.242</b>   | <b>0.898</b>   | <b>17.222</b> | <b>4.838</b> | <b>0.863</b> | <b>66.282</b> | <b>56.174</b>             |               |
| <b>DMS 0.05</b>  | <b>0.591</b>   | <b>0.262</b>   | <b>0.846</b>  | <b>0.348</b> | <b>0.022</b> | <b>9.429</b>  | <b>4.221</b>              |               |

REND = rendimiento de grano; FLFE = floración femenina; FLMA = floración masculina; ALPL = altura de planta; ALMZ = altura de mazorca; PACT = Porcentaje en acame de tallo; PHUM = Porcentaje de humedad de grano a la cosecha; PMP = Porcentaje de mazorcas podridas; CM = calificación en el aspecto de mazorca; MAZPL = Mazorcas por plantas; LM = longitud de mazorca; DMZ = Diámetro de mazorca; PDES = Porcentaje de desgrane; PES100 = peso de 100 granos; VOL100 = Volumen de 100 granos.

\* Escala de calificación de aspecto de mazorca, donde 1 = indeseable, 3 = mala, 5 = regular, 7 = buena, y 9 = excelente.

El grupo más susceptible a pudriciones de mazorca fue el del Estado de México con 25.15 %, asociado a la calificación de mazorca (6.91); el menos afectado fue el de Oaxaca con 5.82 % con un promedio de calificación de mazorca de 8.00. Estos resultados concuerdan con los reportados con Briones (2015) quien observó que los maíces nativos de Oaxaca presentaron menor daño por *Fusarium*

*spp.* en contraste con los originarios del Estado de México, Puebla, Tlaxcala y Guerrero; sin embargo este carácter agronómico puede ser mejorado por medio de selección masal de acuerdo con Zambrano (2013), quien reporta una reducción de -8.28 % de pudrición de mazorca en Familia de medios Hermanos de maíces Anchos.

En las características de la mazorca en los extremos estuvieron el grupo de Chinicuila con mazorca más alargada (19.80 cm) y más delgada (4.13 cm) y el grano con menor peso (48.37 g) y menor volumen (42.59 cm<sup>3</sup>); el grupo de Morelos con el grano de mayor volumen (70.58 cm<sup>3</sup>) y peso (80.76 g) además de tener la mazorca más gruesa (5.26 cm). Los grupos de poblaciones con tamaño de grano estadísticamente semejantes al de Morelos fueron los Blancos de Guerrero, Estado de México y Tlaxcala.

#### **Poblaciones sobresalientes en los dos ambientes**

La población testigo de maíz Pepitilla (7306E) fue la más productiva en los dos ambientes con un rendimiento promedio de 7.01 t ha<sup>-1</sup>. Cinco poblaciones con buena respuesta a los caracteres agronómicos evaluados pertenecen al grupo Anchos de Michoacán (Mich13, Mich07, Mich09, Mich11 y Mich10) con rendimiento promedio de 5.70 a 6.18 t ha<sup>-1</sup>, siendo la colecta Mich07 la que tuvo menor acame de tallo (6.97 %), baja pudrición de mazorca (10.97 %) y menor porcentaje de plantas sin mazorca. También destacó la colecta 7305 E, de Morelos, con un rendimiento promedio de 4.99 t ha<sup>-1</sup> y mostro ciclo biológico corto, 94 días a floración femenina y 92 días para la masculina (Cuadro 2).

#### **Poblaciones sobresalientes en Valles Altos (Montecillos)**

La Colecta AJ0001 del Estado de México fue la que obtuvo el mayor rendimiento (8.25 t ha<sup>-1</sup>) seguido de la colecta Mich12 (7.28 t ha<sup>-1</sup>). Las colectas sobresalientes en este ambiente tuvieron en común: un porte de planta alto que va de 2.80 a 3.27 m, largo ciclo agrícola superando la floración femenina a los 100 días. La colecta 2010-87, originaria de Morelos presentó la mazorca más gruesa (5.88 cm) con el grano de mayor volumen (83.60 cm<sup>3</sup>) y peso (87.8 g) pero mostró alta pudrición de mazorca (28.45 %) (Cuadro 2).

Cuadro 12.- Comportamiento medio de poblaciones de maíz Ancho sobresalientes para 15 caracteres agronómicos evaluados en Teloloapan, Guerrero y Morecillos, Estado de México en el 2014.

| Colecta   | REND (ton/ha) |             |             | FLFE días     | FLMA días    | ALPL M      | ALMZ m      | PACT %       | PHUM %       |  |
|---|---------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--|
|   | Media         | Montecillos | Teloloapan  |               |              |             |             |              |              |  |
| <b>Poblaciones sobresalientes en Montecillos y Teloloapan</b> |               |             |             |               |              |             |             |              |              |  |
| Pepitilla 7306E   | <b>7.01</b>   | 6.70        | 7.47        | 103.00        | 97.00        | 3.00        | 1.73        | 8.73         | 20.10        |  |
| Michoacán Mich13  | <b>6.18</b>   | 7.29        | 4.52        | 96.67         | 94.33        | 2.80        | 1.73        | 11.40        | 17.72        |  |
| Mich07  | <b>6.15</b>   | 6.36        | 5.84        | 99.33         | 95.33        | 3.00        | 1.47        | 6.97         | 24.73        |  |
| Mich09  | <b>5.85</b>   | 6.37        | 5.08        | 99.00         | 93.67        | 3.00        | 1.60        | 12.43        | 23.31        |  |
| Mich11  | <b>5.81</b>   | 6.75        | 4.38        | 97.00         | 95.33        | 2.87        | 1.33        | 13.93        | 20.08        |  |
| Mich10  | <b>5.70</b>   | 6.18        | 4.98        | 99.33         | 95.33        | 2.67        | 1.27        | 17.10        | 21.17        |  |
| Tlaxcala 2013SA   | <b>5.20</b>   | 5.76        | 4.35        | 102.33        | 96.67        | 3.00        | 1.73        | 5.57         | 25.92        |  |
| Morelos 7305E   | <b>4.99</b>   | 4.46        | 5.80        | 94.67         | 92.33        | 2.07        | 1.00        | 18.13        | 19.95        |  |
| <b>Poblaciones sobresalientes en Montecillos</b>              |               |             |             |               |              |             |             |              |              |  |
| Edo. Mex. AJ0001  | 5.81          | <b>8.25</b> | 2.15        | 103.33        | 96.00        | 3.00        | 2.00        | 19.07        | 21.83        |  |
| 7273E   | 4.60          | <b>5.77</b> | 2.85        | 100.67        | 95.33        | 3.00        | 1.80        | 8.67         | 30.06        |  |
| Michoacán Mich12  | 6.12          | <b>7.28</b> | 4.38        | 97.67         | 95.00        | 2.80        | 1.40        | 5.83         | 21.06        |  |
| Mich14  | 4.83          | <b>5.18</b> | 4.30        | 102.67        | 97.00        | 2.80        | 1.73        | 7.00         | 25.40        |  |
| Amarillo 201009   | 5.08          | <b>6.30</b> | 3.24        | 105.67        | 101.67       | 3.27        | 2.00        | 18.17        | 22.16        |  |
| 201012  | 5.08          | <b>6.07</b> | 3.60        | 107.33        | 104.00       | 3.00        | 2.00        | 9.97         | 27.99        |  |
| Tlaxcala 2013VG   | 4.51          | <b>4.91</b> | 3.90        | 98.67         | 94.00        | 3.00        | 1.93        | 11.27        | 26.38        |  |
| Morelos 201087  | 3.69          | <b>4.88</b> | 1.91        | 104.33        | 100.67       | 3.00        | 1.93        | 10.87        | 30.30        |  |
| <b>Poblaciones sobresalientes en Teloloapan</b>               |               |             |             |               |              |             |             |              |              |  |
| Amarillos 201015F   | 5.11          | 3.62        | <b>6.60</b> | 102.67        | 98.33        | 3.00        | 2.00        | 18.20        | 14.16        |  |
| 201016F   | 5.10          | 4.73        | <b>5.48</b> | 103.00        | 99.00        | 2.60        | 1.53        | 10.57        | 17.48        |  |
| Azul 201012F  | 4.44          | 2.47        | <b>6.41</b> | 92.67         | 88.67        | 2.13        | 1.20        | 13.13        | 13.39        |  |
| 201054  | 4.24          | 3.81        | <b>4.67</b> | 97.67         | 92.67        | 2.60        | 1.27        | 19.43        | 14.43        |  |
| Morelos 201084  | 4.73          | 4.34        | <b>5.32</b> | 98.00         | 95.00        | 2.73        | 1.13        | 5.77         | 17.64        |  |
| Blancos 201040  | 4.10          | 3.42        | <b>4.79</b> | 104.00        | 99.33        | 3.00        | 1.80        | 14.03        | 26.49        |  |
| 201044  | 3.82          | 3.05        | <b>4.59</b> | 105.00        | 100.33       | 3.00        | 1.93        | 13.77        | 29.97        |  |
| 201031  | 3.83          | 3.09        | <b>4.58</b> | 101.67        | 98.00        | 3.00        | 1.47        | 6.50         | 28.63        |  |
| <b>Media</b>  | <b>5.06</b>   | <b>5.35</b> | <b>4.65</b> | <b>100.60</b> | <b>96.28</b> | <b>2.86</b> | <b>1.62</b> | <b>12.36</b> | <b>22.29</b> |  |
| <b>DMS 0.05</b>   | <b>1.35</b>   | <b>0.82</b> | <b>1.81</b> | <b>3.83</b>   | <b>3.51</b>  | <b>0.11</b> | <b>0.34</b> | <b>4.34</b>  | <b>3.94</b>  |  |

REND = rendimiento de grano; FLFE = floración femenina; FLMA = floración masculina; ALPL = altura de planta; ALMZ = altura de mazorca; PACT = Porcentaje en acame de tallo; PHUM = Porcentaje de humedad de grano a la cosecha; PMP = Porcentaje de mazorcas podridas; CM = calificación en el aspecto de mazorca; MAZPL = Mazorcas por plantas; LM = longitud de mazorca; DMZ = Diámetro de mazorca; PDES = Porcentaje de desgrane; PES100 = peso de 100 granos; VOL100 = Volumen de 100 granos.

\* Escala de calificación de aspecto de mazorca, donde 1 = indeseable, 3 = mala, 5 = regular, 7 = buena, y 9 = excelente.

Cuadro 13.- Continuación.

| Colecta   | PMP %        | CM          | MZPL #      | LM cm        | DMZ cm      | PDES %      | PES100 g     | VOL100 cm <sup>3</sup> |
|---|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|------------------------|
| <b>Poblaciones sobresalientes en Montecillos y Teloloapan</b> |              |             |             |              |             |             |              |                        |
| <b>Pepitilla</b> 7306E  | 9.61         | 8.00        | 1.02        | 14.88        | 5.26        | 0.91        | 48.80        | 39.20                  |
| <b>Michoacán</b> Mich13                                       | 12.37        | 8.33        | 0.94        | 17.42        | 4.92        | 0.85        | 66.80        | 56.60                  |
| Mich07  | 10.97        | 8.00        | 1.08        | 16.74        | 5.18        | 0.89        | 82.60        | 69.60                  |
| Mich09  | 8.61         | 8.00        | 1.04        | 16.90        | 5.00        | 0.88        | 75.40        | 62.60                  |
| Mich11  | 14.02        | 7.67        | 0.90        | 17.00        | 4.94        | 0.89        | 71.40        | 59.20                  |
| Mich10  | 15.18        | 7.67        | 0.94        | 17.74        | 5.12        | 0.87        | 73.80        | 60.40                  |
| <b>Tlaxcala</b> 2013SA  | 9.19         | 7.67        | 0.78        | 16.12        | 5.26        | 0.91        | 76.20        | 64.00                  |
| <b>Morelos</b> 7305E  | 5.51         | 8.00        | 0.86        | 16.66        | 4.92        | 0.87        | 80.40        | 67.60                  |
| <b>Poblaciones sobresalientes en Montecillos</b>              |              |             |             |              |             |             |              |                        |
| <b>Edo. Mex.</b> AJ0001                                       | 19.35        | 7.33        | 0.94        | 16.86        | 5.30        | 0.88        | 69.20        | 60.40                  |
| 7273E   | 22.08        | 7.67        | 0.86        | 15.96        | 5.28        | 0.89        | 83.00        | 71.00                  |
| <b>Michoacán</b> Mich12                                       | 14.06        | 8.67        | 0.96        | 17.06        | 4.88        | 0.89        | 71.00        | 61.60                  |
| Mich14  | 11.31        | 7.00        | 0.90        | 15.38        | 5.06        | 0.90        | 69.80        | 59.40                  |
| <b>Amarillo</b> 201009  | 10.55        | 7.67        | 0.90        | 18.62        | 4.52        | 0.86        | 61.20        | 48.80                  |
| 201012  | 19.11        | 7.67        | 0.88        | 19.04        | 4.82        | 0.86        | 58.20        | 47.60                  |
| <b>Tlaxcala</b> 2013VG  | 19.87        | 7.67        | 0.88        | 16.56        | 5.26        | 0.89        | 81.60        | 70.80                  |
| <b>Morelos</b> 201087   | 28.45        | 6.67        | 0.90        | 16.38        | 5.88        | 0.85        | 87.80        | 83.60                  |
| <b>Poblaciones sobresalientes en Teloloapan</b>               |              |             |             |              |             |             |              |                        |
| <b>Amarillos</b> 201015F                                      | 8.38         | 7.33        | 0.88        | 18.13        | 4.20        | 0.86        | 53.50        | 42.33                  |
| 201016F   | 13.43        | 7.67        | 1.03        | 17.48        | 4.40        | 0.86        | 57.50        | 45.17                  |
| <b>Azul</b> 201012F   | 15.02        | 7.00        | 1.13        | 14.83        | 4.80        | 0.85        | 47.00        | 39.33                  |
| 201054  | 16.76        | 7.33        | 0.78        | 17.28        | 4.55        | 0.87        | 48.50        | 42.67                  |
| <b>Morelos</b> 201084   | 7.44         | 7.00        | 1.00        | 15.80        | 5.10        | 0.90        | 77.40        | 66.80                  |
| <b>Biancos</b> 201040   | 20.29        | 7.33        | 0.78        | 19.50        | 5.06        | 0.83        | 83.40        | 70.60                  |
| 201044  | 21.15        | 7.33        | 0.90        | 19.08        | 5.14        | 0.82        | 78.00        | 67.40                  |
| 201031  | 23.35        | 7.00        | 0.80        | 19.82        | 5.30        | 0.84        | 86.40        | 74.00                  |
| <b>Media</b>  | <b>15.03</b> | <b>7.57</b> | <b>0.91</b> | <b>17.24</b> | <b>5.01</b> | <b>0.87</b> | <b>70.16</b> | <b>59.45</b>           |
| <b>DMS 0.05</b>   | <b>8.53</b>  | <b>0.58</b> | <b>0.22</b> | <b>1.46</b>  | <b>0.30</b> | <b>0.01</b> | <b>8.93</b>  | <b>8.04</b>            |

REND = rendimiento de grano; FLFE = floración femenina; FLMA = floración masculina; ALPL = altura de planta; ALMZ = altura de mazorca; PACT = Porcentaje en acame de tallo; PHUM = Porcentaje de humedad de grano a la cosecha; PMP = Porcentaje de mazorcas podridas; CM = calificación en el aspecto de mazorca; MAZPL = Mazorcas por plantas; LM = longitud de mazorca; DMZ = Ancho de mazorca; PDES = Porcentaje de desgrane; PES100 = peso de 100 granos; VOL100 = Volumen de 100 granos.

\* Escala de calificación de aspecto de mazorca, donde 1 = indeseable, 3 = mala, 5 = regular, 7 = buena, y 9 = excelente.

Los rendimientos de grano más altos de maíces en Teloloapan van de 5.48 a 6.60 t ha<sup>-1</sup> y fueron obtenidos por las colectas 201016F, 201012F y 201015F pertenecientes al grupo Amarillos y Azules de Guerrero. La colecta 201084 de Morelos obtuvo un rendimiento sobresaliente (5.32 t ha<sup>-1</sup>) con un porcentaje de pudrición de mazorca bajo (7.44 %) y alto porcentaje de desgrane (0.9).

La colecta 2010-31 presentó la mazorca más larga y gruesa entre los materiales sobresalientes con 19.82 cm y 5.30 cm respectivamente; además tuvo el grano más grande 74 cm<sup>3</sup> de volumen y un peso de 86.40 gramos en 100 granos.

### **Comportamiento Genotipo-Ambiente del rendimiento.**

La respuesta de los maíces nativos a los dos ambientes fue muy diversa. En el biplot de la Figura 1 se muestra el comportamiento del rendimiento de todas las poblaciones en los dos ambientes. Con los dos primeros componente principales se explica el 99% de la variación global; se observa que se presentó mayor variabilidad en Montecillo que en Teloloapan, mayor amplitud en los días a la floración; sin embargo, el comportamiento fue inverso en los ambientes (dirección de las flechas), debido, tal vez, a que los mejores materiales en cada ambiente fueron los locales; según López *et al.* (2005) y Briones (2015), existe una estrecha correspondencia entre la diversidad genética local y la variación ecológica ambiental.

De acuerdo a la Figura 1, la colectas 7150E y 2010-81(Conejo) presentó el menor rendimiento en los dos ambientes; las colectas, 7306 (Pepitilla), 7305 (Ancho de Morelos), Mich 07, Mich 10, Mich 09, Mich 11 y Mich 12 (Anchos de Michoacán) fueron los maíces con mejor rendimiento en los dos ambientes; las colectas 2010-19, 2010-27, 2010-85 presentaron un buen rendimiento en Teloloapan; a diferencia de los materiales Mich 13, 7273E, 2010-10 y AJ0001 que respondieron con un mayor rendimiento en Montecillos.

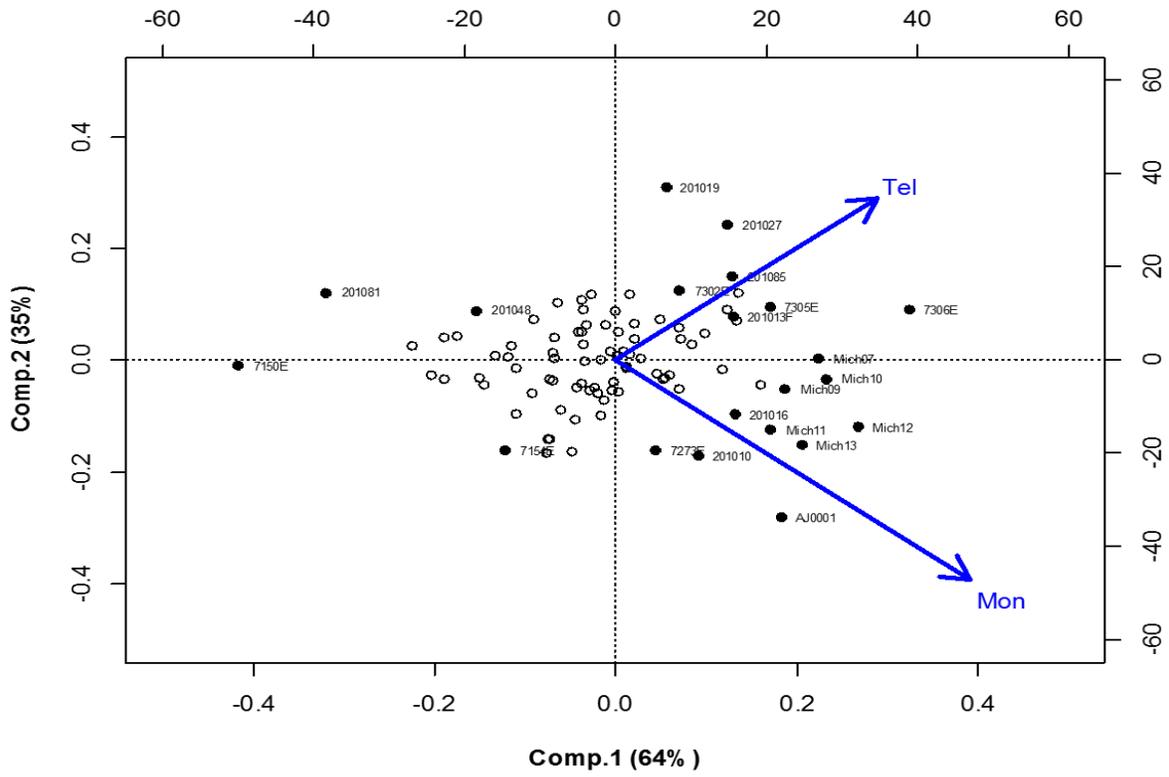


Figura 33.- Comportamiento Genotipo-Ambiente del rendimiento de 91 poblaciones de maíz Ancho nativo.

## CONCLUSIONES

Las poblaciones de maíz Ancho de Morelos presentaron respuestas diferentes al ambiente; se identificaron poblaciones sobresalientes diferentes en los dos ambientes, otros que sólo respondieron bien en los Valles Altos y unos que sobresalieron en los ambientes subtropicales; esto se puede atribuir a las condiciones ambientales prevalentes en su área de distribución, porque distancias cortas se puede encontrar una gran gama de condiciones climáticas.

Los maíces del Estado de México y de Guerrero presentaron los mejores rendimientos en sus ambientes de origen, pero presentaron problemas agronómicos como pudrición de mazorca, que pueden mejorarse por medio de mejoramiento genético.

El grupo Ancho de Michoacán presentó el mejor comportamiento en los dos ambientes; lo cual puede ser debido a las prácticas de adaptación que aplicaron los productores; de esta manera, son materiales muy valiosos para poder mejorar las características agronómicas de otras poblaciones o usarlas como punto de partida para materiales mejorados con amplia superficie de adaptación.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar C., J. A., C., A. Carballo, G., F. Castillo, A., Santacruz V., A., Mejia C., J. Crossa H., y G. Baca C. 2006. Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México* 32 (1): 57- 66.
- Aguirre G, J. A. y M. L. García L., 2012, Selección para el mejoramiento de maíces criollos. INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Folleto Técnico N° 4. Celaya, Guanajuato. México. 40p.
- Benz, B. F. 1986. Taxonomy and evolution of Mexican maize. Tesis Ph.D., University of Wisconsin, Madison. 433p.
- Briones R, D. 2015. Diversidad genética en el patosistema maíz-*fusarium* en el altiplano de México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillos. 90p.
- Carrera V., J. A., J. Ron P. y M. M. Morales R. 2012. Cinco Nuevas Razas de Maíz (*Zea mays* L spp *mays*) en el Occidente de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo Estado de México. 144 p.
- 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.  
[http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6\\_Reuniones Talleres/Tabla%20razas\\_marzo%202010.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_Reuniones_Talleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf)
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. México, D. F.
- Gómez M., N. O., M. A. Cantú A., C. A. Hernández G., M. G. Vázquez C., F. Aragón C. y A. Espinosa C. 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. Folleto Técnico N° 21. Iguala de la Independencia, Guerrero. México. 45p.

- Hellin, J. A. Keleman, D. López, L. Donnet, y D. Flores. 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(6):315-328.
- IBPGR. 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, México City/International Board for Plant Genetic Resources. Rome. 29 p.
- Kato Y., T. A., C. Mapes, L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. Bye B. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 115 p.
- Louette, D. and Smale. 1996. Genetic diversity and maize seed management in a traditional Mexican community: Implications for *in situ* conservation of maize. NRG papers 96-03. CIMMYT. México, D.F. 21p.
- Martín L, J. G., J. Ron P., J. J. Sánchez G., L. de la Cruz L., M. M. Morales R., J. A. Carrera V., A. Ortega C., V. A. Vidal M. y M. J. Guerrero H. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del noroccidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(4):331-340.
- Ortega P., R. 1985. Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Traducción abreviada Ph. D. Thesis. N.I. Vavilov National Institute of Plants. Leningrad, U.S.S.R. 22p.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad del maíz en México. En: Sin Maíz No Hay País. G Esteva, C. Marielle (eds). *Culturas Populares de México*. D.F., México. pp:123-154.
- Romero P., J. 2000. Diversidad genética y heterosis en cruas de poblaciones de maíz de la raza Chalqueño en los Valles Altos de México. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad en Genética. 153 p.

- Ruiz C., J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez, G., R. Ron P., D. R. González E., G. Medina G., y Holland. B. J. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sei.* 48:1502-1512.
- Sánchez G, J.J. 1989. Relationships among the Mexican races of maize. Tesis Ph.D., North Carolina State University, Raleigh. 187p.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Zambrano Z, E. E. 2013. Valoración del mejoramiento genético participativo *in situ* en poblaciones de maíz (*Zea mays L.*) criollo en el sureste del Estado de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos. 61p.

## **CAPÍTULO IV. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE MAÍCES ANCHOS EN DOS AMBIENTES CONTRASTANTES**

### **RESUMEN**

En México el maíz tiene un gran valor cultural dentro, uno de los factores consiste en su diversidad de usos. Existen maíces destinados para un uso especial, entre los cuales se encuentra el maíz Ancho, el cual es utilizado para pozole; este maíz actualmente ha tenido un sobreprecio en el mercado, lo que ha originado un desplazamiento en su distribución a otras regiones diferentes a las de su origen, entre ellas hacia los Valles Altos de México desde por lo menos hace 20 años. En México son escasos los estudios de los maíces de especialidad, entre ellos los de la raza Ancho. El objetivo de esta investigación fue determinar la producción de materia seca, tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y rendimiento de grano (RG) en maíces Anchos de Morelos, Guerrero y el Estado de México con origen altitudinal contrastantes; en dos ambientes de evaluación contrastantes, para identificar similitudes y diferencias en el crecimiento del cultivo. Se encontró que el maíz Ancho de Morelos fue el más precoz, lo que le generó mayor rendimiento en valles altos que en zona de transición; las poblaciones del Edo. Méx. fueron las que presentaron la TAN mayor lo que generó el mayor RG en los dos ambientes; y las poblaciones de Guerrero de origen altitudinal elevado fueron más tardío, de mayor índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT), pero menor TAN, obteniéndose un rendimiento de grano (RG) bajo.

**Palabras clave:** Maíces nativos, maíz ancho, tasa de asimilación neta, área foliar, ambientes contrastantes, poblaciones nativas

## INTRODUCCIÓN

Originado del toecintle (Miranda, 1966), el maíz es el cultivo de mayor importancia en México desde tiempos prehispánicos, además es parte de su cultura y el alimento básico del país (Mapes y Mera, 2009). En México se presenta una gran diversidad de maíz; CONABIO (2011) reporta 62 razas de maíz, de las cuales 59 pueden ser consideradas como nativas. Además no sólo es centro de diversidad de formas biológicas de maíz, sino también de sus usos. La mayoría de las razas se cultivan para usos comunes, principalmente tortillas, pero se han formado y seleccionado razas y poblaciones para usos especiales, como elotes, pozole, tamales, palomitas, totopos, pinole, panecillos y atoles (Ortega, 2003).

Entre los maíces de usos especiales se encuentran el maíz Cacahuacintle y el Ancho que dan un pozole de gran calidad (Hellin *et al.*, 2013); el maíz Cacahuacintle se encuentra principalmente en los valles altos centrales del país (CONABIO, 2010) y el maíz Ancho es el maíz pozolero por excelencia en Guerrero y Morelos, ubicándose entre los 1500 a los 2000 msnm en áreas de transición; sin embargo, estudios recientes han reportado su distribución y uso para el mismo fin en los estados de Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Estado de México, entre 800 hasta 2500 msnm llegando a los valles altos de México (Perales, 1998, Aragón *et al.*, 2006; Ron, 2006; CONABIO, 2011; Carrera, 2011; Aguilar y González, 2012; Carrera *et al.*, 2012). Este crecimiento de la superficie sembrada se debe al sobreprecio que se obtiene en los mercados especializados; en el 2010 se reportó un sobreprecio de 50 % en el Estado de México y hasta 114.7% en Guerrero (Hellin *et al.*, 2013).

Tanto las razas como sus agrupamientos tienden a ocupar un área ecológica específica (Ortega, 2003), por lo cual la repentina distribución actual del maíz Ancho trae consigo muchas interrogantes; entre ellas, conocer las diferencias y similitudes en el crecimiento y desarrollo del cultivo entre poblaciones de maíz Ancho de las áreas de transición y las de los valles altos del país, para la comprensión de la diversidad existente dentro de la raza y de su mejoramiento, ya

que mencionan León *et al.* (2012), las condiciones ambientales están asociadas con los diferentes patrones de variabilidad genética, lo que refleja los procesos de adaptación del germoplasma a los factores ambientales diversos.

Es comprendido que los rendimientos de grano de maíz varían entre poblaciones de genotipos, por ello se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agroecosistema, y conocer el manejo más apropiado para un mejor aprovechamiento de su potencial genético (Aguilar *et al.*, 2015); por lo tanto, las diferencias de adaptación entre las poblaciones de la raza Ancho pueden orientar la planeación de proyectos de mejoramiento de maíz más fructíferos para cada área ecológica en las cuales se distribuye.

La introducción de maíz Ancho a nuevos ambientes lleva el potencial para generar materiales con características agronómicamente relevantes, identificando las virtudes de cada maíz en dicho ambiente para acelerar el mejoramiento realizado por los productores mexicanos interesados en la producción del maíz pozolero. La dispersión de germoplasma de maíz a un ambiente particular permite incrementar la diversidad genética existente, facilitando cambios fenológicos y morfológicos, como consecuencia de su desadaptación, lo cual agronómicamente puede ser indeseable (Pecina *et al.* (2009).

El objetivo de esta investigación fue determinar la producción de materia seca, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo y rendimiento de grano en poblaciones de maíz Ancho de origen y altitud contrastantes evaluados en dos ambientes contrastantes para identificar similitudes y diferencias en el crecimiento del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos del estudio se establecieron dos experimentos; 1) En Montecillo Méx, (19°28'7.38"N, 98°53'54.76"O y 2248 msnm) de clima templado semi-seco ( $C(w_0)(w)$ , García, 2005) con una temperatura media anual de 15.2 °C y una precipitación media anual de 590 mm. La siembra se realizó el 10 de mayo de 2014 en un suelo tipo fozem arcilloso; y 2) En Teloloapan Gro, (18°21'15.72"N, 99°51'58.98"O y 1622 msnm) de clima semi-cálido subhúmedo ( $ACw_1(w)$ , García, 2005) con temperatura promedio de 21.5 °C y precipitación media anual de 1179 mm; la siembra se realizó el 21 de Junio de 2014 en un suelo de tipo regosol. Para los dos experimentos la densidad de siembra fue de 50,000 plantas  $ha^{-1}$ , la unidad experimental de ocho surcos de 0.8 m de ancho por 8 m de longitud y en los tratamientos se incluyeron cinco poblaciones maíz Ancho nativo de diferentes áreas de origen y un maíz Mushito criollo que actuó como testigo por ser un maíz que se distribuye en el rango de altitud donde se situaron los experimentos (Cuadro 1). El diseño experimental fue bloques al azar con tres repeticiones; durante la evaluación de los materiales se registraron los días a floración femenina y masculina cuando el 50 % de las plantas las presentaban.

Para evaluar el crecimiento del cultivo se hicieron muestreos destructivos de cuatro plantas de la parcela útil de cada unidad experimental a los 36, 71, 118 días después de la siembra (dds) en las dos localidades y además a los 172 dds en Montecillos por ser un ambiente que provee un ciclo más largo. En cada muestreo se registró altura de planta, la biomasa total (acumulación de materia seca (MS) en tallo, hojas, jilote o mazorca y espiga, BT) para lo cual las muestras se secaron a 76 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante; y el área foliar se midió con un integrador electrónico (LI-COR 3100). Con estos datos se calculó el índice de área foliar (IAF) en base en la siguiente ecuación:  $IAF = (AF/NP) * DP / 100 \text{ dm}^2$ , donde AF = área foliar ( $\text{dm}^2$ ), NP = número de plantas y DP = densidad de población. También se calculó la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa de crecimiento de cultivo (TCC); la primera fue

obtenida al relacionar BT por IAF y la segunda con base en la siguiente ecuación:  $TCC = [(PS2-PS1) / A(T2-T1)]$ , donde: PS2 y PS1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempo T2 y T1, respectivamente, y A representa el área ocupada por la planta (Escalante y Kohashi, 1993). A la madurez fisiológica se evaluó el rendimiento de grano (RG, g m<sup>2</sup>). A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico del SAS, Versión 9.0 (SAS, 2003), cuando existieron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 14.- Poblaciones de maíz Ancho utilizadas en el estudio y descripción de su ambiente de origen.

| Colecta y raza  | Estado           | Municipio     | Localidad     | Altitud (msnm) | Temperatura media Anual (°C) <sup>1</sup> | Precipitación (mm) <sup>2</sup> | Clima | Tipo de vegetación  |
|-----------------|------------------|---------------|---------------|----------------|---|---------------------------------|-------|---------------------|
| 2010-38 Ancho   | Guerrero         | Zitlala       | Las Trancas   | 1564           | 22.3                                      | 897                             | Aw    | Selva Caducifolia   |
| 2010-48 Mushito | Guerrero         | Cualác        | Nuevo Paraíso | 2222           | 21.6                                      | 940                             | Aw    | Bosque de Coníferas |
| 2010-84 Ancho   | Morelos          | Atlatlahuacán | Atlatlahuacán | 1656           | 19.9                                      | 972                             | Aw    | Bosque de Encinos   |
| 7154 Ancho      | Estado de México | Tepetlixpa    | Cuecucuatitla | 2400           | 18.4                                      | 986                             | Csb   | Bosque de Coníferas |
| 7273 Ancho      | Estado de México | Tepetlixpa    | Tepetlixpa    | 2300           | 18.4                                      | 986                             | Csb   | Bosque de Encinos   |
| 7199 Ancho      | Estado de México | Juchitepec    | Cuijingo      | 2500           | 13.9                                      | 883                             | Cfb   | Bosque de Coníferas |

<sup>1</sup> Datos obtenidos de Climate-data.org (consultado en 2015), <sup>2</sup> Datos obtenidos del Mapa digital de México INEGI (Consultado en 2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Floración, altura de planta, índice de área foliar y duración de área foliar total.

#### Genotipos

En el Cuadro 2 se observa que el material de Nuevo Paraíso y el Ancho de las Trancas tuvieron un comportamiento semejante, siendo los del dosel más bajo a los 36, 71 y 118 dds, pero teniendo el mayor IAF a los 71, 118 y 172 dds; por lo tanto, son los materiales con mayor duración de área foliar total (DAFT); sin embargo, la diferencia radica en los días a las floraciones, siendo el material de Nuevo Paraíso el más tardío de todos los materiales. Esto concuerda con Wellhausen *et al.* (1951); Ortega (1979); Sánchez (1989); CONABIO (2010), que indican que el maíz Mushito presenta una maduración tardía, hojas grandes y anchas, y un alto número de hojas.

En contraste, las poblaciones de maíz Anchos de los valles altos de México, es decir los procedentes de Cuecuecuatitla, Tepetlixpa y Cuijingo del Estado de México, se comportaron de una manera similar, siendo los maíces más altos a los 36, 71, 118 dds además tuvieron el mayor IAF a los 36 dds, y la mayor superficie de maquinaria fotosintética sobre unidad de superficie, solo por los primeros 30 días, posteriormente mostraron el dosel menos abundante en comparación con los Materiales de Guerrero. El maíz Ancho de Atlahuacán fue el más precoz con un promedio a la floración masculina y femenina de 74.8 y 78.1 dds respectivamente; además tuvo la menor altura a los 172 dds y la menor DAFT de todos.

#### Localidades

Es muy importante para el análisis darse cuenta (Cuadro 2) que el ciclo biológico en Teloloapan fue más corto que el en Montecillos. La altura de la planta fue mayor en Teloloapan a los 36 y 71 dds pero a los 118 dds se iguala con lo reportado en Montecillos. Para llegar a la floración femenina y masculina en Teloloapan se requirieron 86 y 82 días además de obtener un DAFT de 229.009,

en cambio en Montecillos fueron necesarios 102 y 98 días para llegar a floración femenina y masculina, respectivamente, con un DAFT de 546.755. Estos resultados, como respuesta a ambientes contrastantes, concuerda con (Pecina *et al.*, 2009) quienes sugieren que menor temperatura y fotoperiodo corto conducen a un mayor desarrollo vegetativo de la planta.

Los resultados contrastantes obtenidos en las dos localidades se explican a las condiciones ambientales; en Teloloapan se presenta una temperatura media de 21.5°C y en Montecillos de 15.2 °C, lo cual influyó en los procesos de producción de órganos y en la especificación de la identidad de los mismos pues la coordinación de estos procesos se logra en parte por un reloj térmico y por vías de transducción de señales que miden la respuesta de las plantas a la luz; por lo tanto, la transición hasta la floración, se realiza cuando el desarrollo de la hoja se suprime y las yemas laterales se diferencian como flores (Poethig, 2003).

El IAF más alto a los 36 y 71 dds se presentó en Teloloapan, y a los 118 dds fue en Montecillo; esto fue ocasionado por las temperaturas más elevadas de Teloloapan, lo cual provocó que a los 118 dds el desarrollo del cultivo fuera más avanzado y se presentara una senescencia más avanzada con respecto a Montecillo, donde se alcanzó hasta los 172 dds.

### **Interacción Genotipo X Localidad**

Lo maíces de Tepetlixpa, Cuijingo y las Trancas fueron los más afectados en altura de planta en respuesta al cambio de ambiente, presentaron un aumento de hasta de 50 cm, a diferencia de los maíces procedentes de Nuevo Paraíso y Atlatlahuacán, que fueron los más altos y de porte bajo, respectivamente, en las dos localidades, sin diferencias en sus promedios, por lo que se puede afirmar que son los materiales más estables en la variable mencionada (Cuadro 2).

Las floraciones fueron contrastantes en los dos ambientes; en Teloloapan los maíces Anchos llegaron a la floración masculina entre 57 a 68 días y a la femenina de 62 a 73 días; estos rangos de días a la floración del maíz Ancho en un ambiente de transición concuerdan con los reportados por Martín *et al.* (2008) en

Zapopan a 1650 msnm quienes registraron una floración de 68 a 71 días para la masculina y de 71 a 75 días para la femenina. En Montecillos se registró para los maíces Anchos un rango de 92 a 98 días para la floración masculina y de 93 a 104 para la femenina, lo cual concuerda con Herrera *et al.* (2013) que registra 97 y 104 días promedio para la floración masculina y femenina respectivamente para maíces Anchos en valles altos de México. De todos los materiales evaluados, el maíz Ancho de Atlatlahuacán fue el más precoz y el Mushito de Nuevo Paraíso el más tardío en los dos ambientes, similar a lo reportado por Herrera *et al.* (2013), quienes identifican como característica distintiva del maíz Mushito su ciclo muy tardío.

En la Figura 1 se puede notar la dinámica del IAF de los materiales en las dos localidades; observándose que los datos obtenidos se ajustan, en los dos ambientes, a un modelo de segundo orden.

En Teloloapan el maíz con mayor IAF y mayor tiempo de senescencia fue el maíz Mushito de Nuevo Paraíso, el maíz Ancho de Atlatlahuacán fue el de menor IAF, pero el de menor tiempo de senescencia y los maíces Anchos de valles altos y el maíz Ancho de las Trancas no tuvieron diferencias notables (Cuadro 2); sin embargo, en Montecillos el maíz Ancho de las Trancas y Mushito de Nuevo Paraíso, fueron los de mayor IAF, pero el primero presentó una mayor senescencia que el segundo; en cuanto a los Anchos de los valles altos, no se hubieron diferencias para el IAF pero su senescencia fue similar al maíz Ancho de Atlatlahuacán el cual obtuvo el menor IAF.

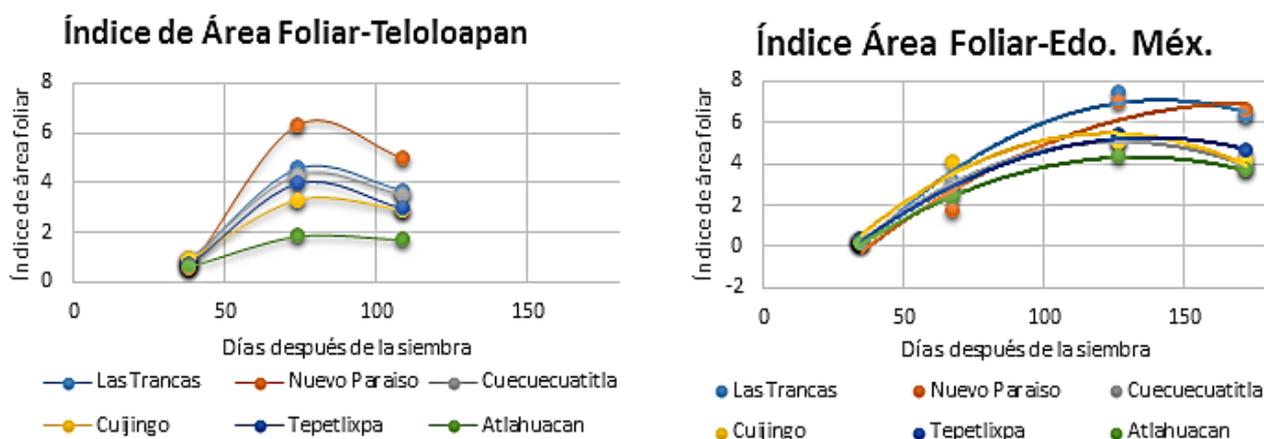
Aguilar *et al.* (2015) reportaron un IAF máximo de 4.4; en este estudio el maíz de Nuevo Paraíso alcanzó un máximo de 6.3 en Teloloapan y 6.9 en Montecillos, siendo el material con mayor IAF; esto se entiende porque los días a floración están altamente correlacionados con el número de hojas, lo cual explicaría por qué el maíz más tardío también tuvo mayor IAF (Tollenaar, 1991).

Cuadro 15.- Altura de planta (cm), Índice de Área Foliar (IAF), Duración del Área Foliar Total (DAFT, días), Floración Masculina (M, días) y Femenina (F, días) en poblaciones de maíz y Localidades, Teloloapan y Montecillos, 2014.

| Fuentes de variación | Altura de Planta           |         |          |           | IAF                        |         |          |         | Floración |          | DAFT   |           |
|----------------------|----------------------------|---------|----------|-----------|----------------------------|---------|----------|---------|-----------|----------|--------|-----------|
|                      | 36                         | 71      | 118      | 172       | 36                         | 71      | 118      | 172     | F         | M        |        |           |
|                      | Días después de la siembra |         |          |           | Días después de la siembra |         |          |         | Días      | Días     | Días   |           |
| Genotipo             | Nuevo Paraíso              | 36.45 d | 150.95 c | 226.20 d  | 280.75 a                   | 0.368 c | 4.027 a  | 5.963 a | 6.611 a   | 98.6 a   | 95.1 a | 464.33 a  |
|                      | Las trancas                | 40.17 c | 175.58 b | 263.91 c  | 292.25 a                   | 0.551 b | 3.842 ab | 5.543 a | 6.329 a   | 86.6 bc  | 81.1 b | 468.81 a  |
|                      | Cuijingo                   | 50.15 a | 186.83 a | 269.00 bc | 283.75 a                   | 0.605 a | 3.674 bc | 3.961 b | 4.106 bc  | 85.1 bc  | 81.3 b | 376.01 b  |
|                      | Cucuecuatitla              | 44.84 b | 188.95 a | 286.41 a  | 293.33 a                   | 0.651 a | 3.603 bc | 4.361 b | 3.868 c   | 87.3 b   | 81.0 b | 376.65 b  |
|                      | Tepetlixpa                 | 46.22 b | 186.62 a | 282.00 ab | 290.33 a                   | 0.518 b | 3.372 c  | 4.150 b | 4.664 b   | 84.1 c   | 79.0 b | 370.30 b  |
|                      | Atlatlahuacán              | 35.68 d | 160.33 c | 239.91 d  | 241.75 b                   | 0.385 c | 2.108 d  | 3.044 c | 3.642 c   | 78.1 d   | 74.8 c | 271.17 c  |
| Localidad            | Teloloapan                 | 53.55 a | 240.55 a | 263.69 a  | Nd                         | 0.757 a | 4.040 a  | 3.285 b | Nd        | 70.7b    | 65.9 b | 229.009 b |
|                      | Montecillos                | 30.95 b | 109.20 b | 258.79 a  | 280.36                     | 0.269 b | 2.835 b  | 5.722 a | 4.870     | 102.66 a | 98.2 a | 546.755 a |
|                      | Media General              | 42.25   | 174.88   | 261.24    | 280.361                    | 0.513   | 3.438    | 4.504   | 4.870     | 86 b     | 82 b   | 387.882 b |
|                      | C.V.                       | 2.549   | 3.330    | 3.295     | 2.581                      | 5.346   | 5.631    | 7.932   | 4.740     | 1.622    | 1.614  | 3.745     |
|                      | R <sup>2</sup>             | 0.995   | 0.995    | 0.968     | 0.917                      | 0.994   | 0.986    | 0.973   | 0.979     | 0.996    | 0.996  | 0.996     |

Cuadro 16.- Altura de planta (cm), Índice de Área Foliar (IAF), Duración del Área Foliar Total (DAFT, días), Floración Masculina (M, días) y Femenina (F, días) en genotipos de maíz en función del Localidades, Teloloapan y Montecillos, 2014

| Fuentes de variación | Altura de Planta           |       |        |        | IAF                        |       |       |       | Floración |       | DAFT  |         |
|----------------------|----------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|---------|
|                      | 36                         | 71    | 118    | 172    | 36                         | 71    | 118   | 172   | F         | M     |       |         |
|                      | Días después de la siembra |       |        |        | Días después de la siembra |       |       |       | Días      | Días  | Días  |         |
| Montecillos          | Nuevo Paraíso              | 25.90 | 77.50  | 163.50 | 280.75                     | 0.231 | 1.750 | 6.965 | 6.611     | 118.3 | 115.7 | 599.30  |
|                      | Las trancas                | 29.52 | 96.41  | 274.16 | 292.25                     | 0.247 | 3.128 | 7.403 | 6.330     | 104.3 | 98.3  | 679.67  |
|                      | Cuijingo                   | 38.64 | 137.25 | 293.25 | 283.75                     | 0.315 | 4.067 | 5.031 | 4.106     | 97.0  | 94.0  | 551.77  |
|                      | Cucuecuatitla              | 31.94 | 111.33 | 286.08 | 293.33                     | 0.344 | 2.908 | 5.218 | 3.869     | 103.3 | 95.3  | 503.87  |
|                      | Tepetlixpa                 | 35.94 | 128.91 | 288.41 | 290.33                     | 0.311 | 2.793 | 5.338 | 4.664     | 99.3  | 94.0  | 521.57  |
|                      | Atlatlahuacán              | 23.78 | 103.83 | 247.33 | 241.75                     | 0.166 | 2.367 | 4.381 | 3.643     | 93.7  | 92.0  | 424.36  |
| Teloloapan           | Nuevo Paraíso              | 47.00 | 224.41 | 288.91 | Nd                         | 0.505 | 6.305 | 4.962 | Nd        | 79.0  | 74.7  | 329.37  |
|                      | Las trancas                | 50.83 | 254.75 | 253.66 | Nd                         | 0.857 | 4.556 | 3.685 | Nd        | 69.0  | 64.0  | 257.95  |
|                      | Cuijingo                   | 61.66 | 236.41 | 244.75 | Nd                         | 0.896 | 3.281 | 2.892 | Nd        | 73.3  | 68.7  | 200.27  |
|                      | Cucuecuatitla              | 57.75 | 266.58 | 286.75 | Nd                         | 0.959 | 4.299 | 3.505 | Nd        | 71.3  | 66.7  | 249.44  |
|                      | Tepetlixpa                 | 56.50 | 244.33 | 275.58 | Nd                         | 0.726 | 3.952 | 2.964 | Nd        | 69.0  | 64.0  | 219.04  |
|                      | Atlatlahuacán              | 47.58 | 216.83 | 232.50 | Nd                         | 0.605 | 1.850 | 1.707 | Nd        | 62.7  | 57.7  | 117.99  |
|                      | Media General              | 42.25 | 174.88 | 261.24 | 280.36                     | 0.513 | 3.438 | 4.504 | 4.870     | 86    | 82    | 387.882 |
|                      | C.V.                       | 2.549 | 3.330  | 3.295  | 2.58                       | 5.346 | 5.631 | 7.932 | 4.740     | 1.622 | 1.614 | 3.745   |
|                      | R <sup>2</sup>             | 0.995 | 0.995  | 0.968  | 0.917                      | 0.994 | 0.986 | 0.973 | 0.979     | 0.996 | 0.996 | 0.996   |



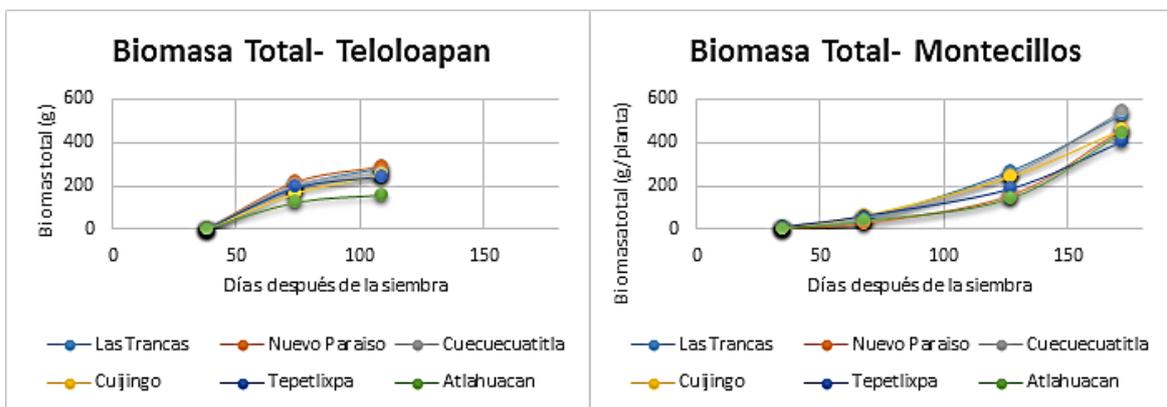
| Colecta       | Modelo para IAF en Teloloapan             | R <sup>2</sup> | Modelo para IAF en Montecillos            | R <sup>2</sup> |
|---------------|---|----------------|---|----------------|
| Nuevo Paraíso | $IAF = -0.0028DDS^2 + 0.4758DDS - 13.518$ | 1              | $IAF = -0.0004DDS^2 + 0.1304DDS - 4.3635$ | 0.94           |
| Las Trancas   | $IAF = -0.0018DDS^2 + 0.3042DDS - 8.1057$ | 1              | $IAF = -0.0006DDS^2 + 0.1766DDS - 5.4446$ | 0.98           |
| Cuijingo      | $IAF = -0.0011DDS^2 + 0.1883DDS - 4.6873$ | 1              | $IAF = -0.0006DDS^2 + 0.1558DDS - 4.1111$ | 0.95           |
| Cuecucuatitla | $IAF = -0.0016DDS^2 + 0.2749DDS - 7.1401$ | 1              | $IAF = -0.0006DDS^2 + 0.1442DDS - 4.0964$ | 0.99           |
| Tepetlixpa    | $IAF = -0.0017DDS^2 + 0.2754DDS - 7.3441$ | 1              | $IAF = -0.0005DDS^2 + 0.1311DDS - 3.7705$ | 0.99           |
| Atlalahuacán  | $IAF = -0.0005DDS^2 + 0.0956DDS - 2.2402$ | 1              | $IAF = -0.0004DDS^2 + 0.1157DDS - 3.3989$ | 0.99           |

Figura 34.- Dinámica del Índice de Área Foliar y modelo ajustado en genotipo de maíz en Teloloapan (izq.) y Montecillos (der.), 2014.

### Biomasa total (BT)

En la Figura 2 se muestran los datos de BT de los genotipos en las dos localidades, ajustándose a un modelo de tipo polinomio de segundo orden. Esto pudiera deberse al número de muestreos realizados en este trabajo, ya que el comportamiento de la BT a un número más alto de muestreos corresponde a un modelo tipo sigmoide (Escalante y Kohashi, 1993).

La menor BT la produjo el maíz de Atlalahuacán en Teloloapan; los demás genotipos no tuvieron diferencias dentro de cada localidad. Al comparar la producción de BT por localidades, destaca la alta generación de biomasa en Montecillos, donde se obtuvo el doble de BT con respecto a lo registrado en Teloloapan, debido al ciclo de cultivo con mayor número de días, lo que se refleja en la DAFT más extensa (Cuadro 2), esto indica que tejido fotosintético estuvo útil el doble de tiempo en Montecillos con respecto a Teloloapan, lo que permitió generar más biomasa.



| Colecta       | Modelo para BT en Teloloapan             | R <sup>2</sup> | Modelo para BT en Montecillos           | R <sup>2</sup> |
|---------------|--|----------------|---|----------------|
| Nuevo Paraíso | $BT = -0.0559DDS^2 + 12.259DDS - 382.77$ | 1              | $BT = 0.0328DDS^2 - 3.5841DDS + 98.145$ | 0.99           |
| Las Trancas   | $BT = -0.0428DDS^2 + 10.156DDS - 320.58$ | 1              | $BT = 0.0228DDS^2 - 0.8668DDS + 6.4684$ | 0.99           |
| Cuijingo      | $BT = -0.0295DDS^2 + 7.7648DDS - 247.72$ | 1              | $BT = 0.0164DDS^2 - 0.1433DDS - 4.2981$ | 1              |
| Cuecucuatitla | $BT = -0.0572DDS^2 + 12.012DDS - 367.9$  | 1              | $BT = 0.0266DDS^2 - 1.6748DDS + 40.876$ | 0.99           |
| Tepetlixpa    | $BT = -0.0524DDS^2 + 11.114DDS - 342.91$ | 1              | $BT = 0.0183DDS^2 - 0.9922DDS + 28.532$ | 0.99           |
| Atlalhuacán   | $BT = -0.0336DDS^2 + 7.1089DDS - 218.66$ | 1              | $BT = 0.0318DDS^2 - 3.5161DDS + 102.15$ | 0.98           |

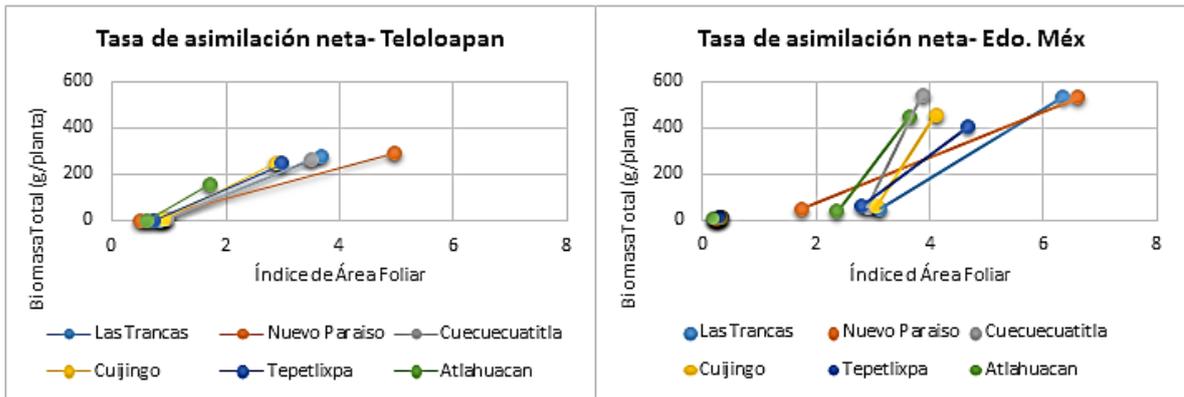
Figura 35.- Dinámica de la Biomasa Total y modelo ajustado en genotipo de maíz en Teloloapan (izq.) y Montecillos (der.), durante el 2014.

### Tasa de asimilación neta (TAN)

La TAN fue ajustada a un modelo lineal. En la Figura 3 se observa que en Montecillos el modelo se ajustó, del segundo juego de puntos al tercero, los cuales corresponden al 71 y 118 dds. Se analizó de este manera debido a que a los 36 dds no se registraron diferencias en la producción de biomasa y la parte crítica de la producción de biomasa por unidad de área foliar en Montecillos se presentó en el periodo antes mencionado y esta forma de análisis brinda la opción de poder comparar la TAN instantánea de los genotipos en la fase crítica de crecimiento.

En las dos localidades las poblaciones de Cuecucuatitla, Cuijingo y Tepetlixpa fueron los más eficientes en su actividad fotosintética, produciendo la misma cantidad de BT que las de Nuevo Paraíso y Las Trancas, que tuvieron menor IAF.

En Teloloapan el maíz de Atlalhuacán fue el mejor con un incremento de 140 g por unidad de IAF, duplicando al Mushito de Nuevo Paraíso, que produjo 64 g por unidad de IAF, sin embargo el maíz de Atlalhuacán produjo menor BT por concluir su desarrollo en menor número de días por ser un maíz precoz.



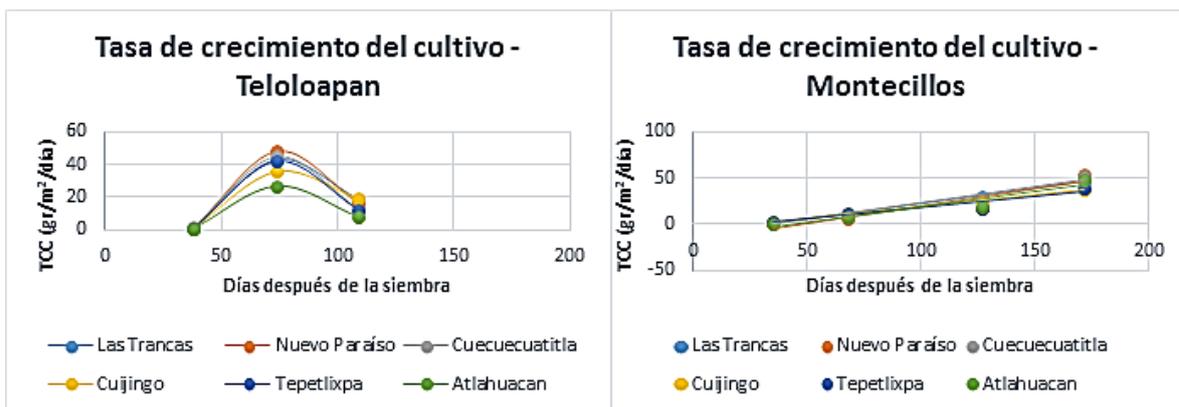
| Colecta       | Modelo para TAN en Teloloapan | R <sup>2</sup> | Modelo para TAN en Montecillos | R <sup>2</sup> |
|---------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| Nuevo Paraíso | TAN = 64.46IAF - 30.13        | 1              | TAN = 99.537IAF - 127.11       | 1              |
| Las Trancas   | TAN = 97.126IAF - 79.613      | 1              | TAN = 151.11IAF - 425.59       | 1              |
| Cuijingo      | TAN = 122IAF - 104.52         | 1              | TAN = 378.96IAF - 1100         | 1              |
| Cuecucuatitla | TAN = 100.34IAF - 90.275      | 1              | TAN = 505.37IAF - 1413.9       | 1              |
| Tepetlixpa    | TAN = 108.4IAF - 74.941       | 1              | TAN = 184IAF - 453.7           | 1              |
| Atlalahuacán  | TAN = 140.27IAF - 81.905      | 1              | TAN = 320.21IAF - 718.96       | 1              |

Figura 36.- Dinámica de la Tasa de Asimilación Neta y modelo ajustado en genotipo de maíz en Teloloapan (izq.) y Montecillos (der.), 2014.

En Montecillos el maíz de Cuecucuatitla y Cuijingo presentaron la TAN mayor, de 505 y 378 g por unidad de IAF, respectivamente, por ser maíces Anchos adaptado a los valles altos; en cambio, el maíz de Atlalahuacán presentó una TAN considerable al producir 320 g por unidad de IAF, triplicando al Mushito de Nuevo Paraíso que produjo 99 g por unidad de IAF, siendo este el que mostro la actividad fotosintética menos productiva, a pesar de ser el que presentó mayor IAF de todos los genotipos (Cuadro 2).

### Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La TCC registrada en Teloloapan se ajustó a un modelo de tipo polinomio de segundo orden, debido a que el mayor incremento en el desarrollo de cultivo se concentró durante los 36 a los 71 dds; el maíz de Nuevo Paraíso presentó la mayor TCC y los maíces de Atlalahuacán y Cuijingo, la menor. En Montecillos la TCC se ajustó a un modelo lineal, porque el crecimiento del cultivo fue gradual durante el ciclo; en este ambiente el maíz de Nuevo Paraíso presentó la mayor TCC con un aumento de 0.36 gr/m<sup>2</sup>/día, y los maíces de Cuijingo y Tepetlixpa, la menor con 0.25 y 0.24 gr/m<sup>2</sup>/día, respectivamente (Figura 4).



| Colecta       | Modelo para TCC en Teloloapan             | R <sup>2</sup> | Modelo para TCC en Montecillos | R <sup>2</sup> |
|---------------|---|----------------|--------------------------------|----------------|
| Nuevo Paraíso | $TCC = -0.0314DDS^2 + 4.8317DDS - 137.82$ | 1              | $TCC = 0.3668DDS - 17.387$     | 0.863          |
| Las Trancas   | $TCC = -0.0263DDS^2 + 4.1141DDS - 117.64$ | 1              | $TCC = 0.3315DDS - 11.335$     | 0.995          |
| Cuijingo      | $TCC = -0.0203DDS^2 + 3.239DDS - 92.744$  | 1              | $TCC = 0.2515DDS - 5.928$      | 0.992          |
| Cuecucuatitla | $TCC = -0.0301DDS^2 + 4.5846DDS - 129.47$ | 1              | $TCC = 0.3455DDS - 11.87$      | 0.962          |
| Tepetlixpa    | $TCC = -0.0281DDS^2 + 4.2898DDS - 121.66$ | 1              | $TCC = 0.2409DDS - 6.6184$     | 0.905          |
| Atlahuacán    | $TCC = -0.0179DDS^2 + 2.7327DDS - 77.348$ | 1              | $TCC = 0.3216DDS - 13.275$     | 0.906          |

Figura 37.- Dinámica de la Tasa de Crecimiento del cultivo y modelo ajustado en genotipo de maíz en Teloloapan (izq.) y Montecillos (der.), 2014.

## Rendimiento de grano (RG)

El RG fue mayor en Montecillos con 613 g/m<sup>2</sup> en promedio, lo cual se relaciona con la producción de BT, que fue el doble en esta localidad, debido al ciclo biológico mayor en el desarrollo del cultivo, lo que se refleja también en el doble de días del DAFT; en Teloloapan se obtuvo un RG promedio de 280 g/m<sup>2</sup>.

El RG más alto lo obtuvieron las poblaciones de Tepetlixpa y Cuijingo (Figura 5); en los dos ambientes de evaluación, presentaron días a la floración de ciclo intermedio, el IAF y DAFT más bajos; sin embargo, su TAN fue de las mayores al compararlos a los maíces de las Trancas, Nuevo Paraíso y Cuecucuatitla que tuvieron los RG más bajos, a pesar de que presentaron mayor días a la floración, IAF y DAFT altos, pero su TAN fue baja en los dos ambientes, solo el maíz de Cuecucuatitla presentó una TAN alta en Montecillos pero fue el que tuvo porte más alto en este ambiente, lo que sugiere que la materia seca producida en gran parte se destinó a crecimiento de la plata, por lo tanto no destacó en RG en esta localidad.

El maíz de Atlahuacán presentó una interacción fuerte con el ambiente; en Montecillos tuvo un alto RG al presentar IAF y DAFT bajos pero una TAN alta; sin embargo, en Teloloapan obtuvo el RG más bajo, al presentar la misma

relación del IAF, DAFT y TAN; esto pudiera explicarse por ser un maíz precoz, ya que su etapa de llenado de grano no le permitió obtener mayor rendimiento debido a su inadaptabilidad al ambiente.

Los factores responsables de las irregularidades en la interacción genotipo ambiente son difíciles de identificar (Aguilar *et al.*, 2015); sin embargo con los resultados obtenidos se tiene un sustancial acercamiento a su explicación. La selección de maíces que destinan la mayor parte de la materia seca producida, al RG y a la adaptabilidad de éstos al ambiente, se deben considerar para obtener el mayor RG posible.

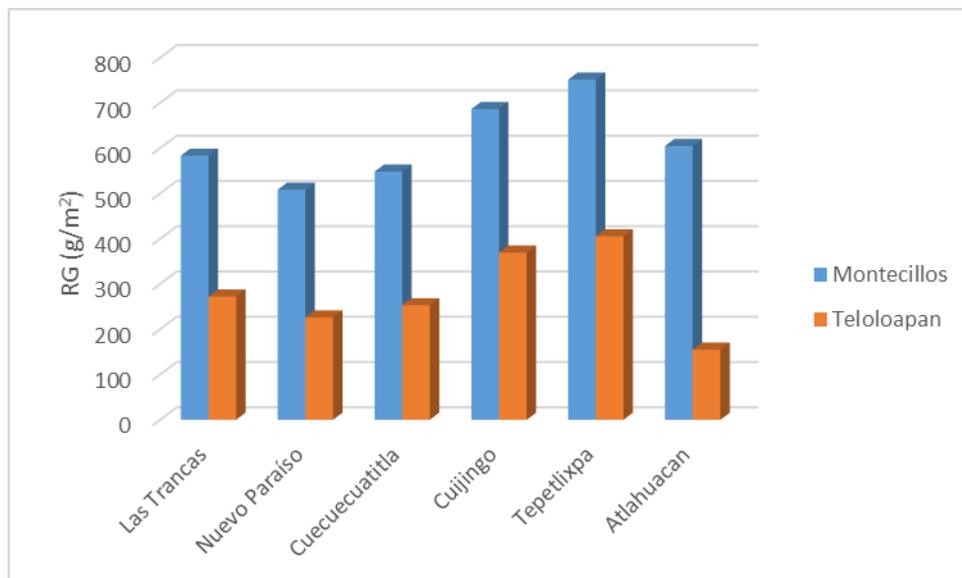


Figura 38.- Rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en Teloloapan y Montecillos, durante el 2014.

## CONCLUSIONES

Por medio de su respuesta a los ambientes las poblaciones de maíz pudieron diferenciarse por su región de origen; sólo la de Cuecucuatitla tuvo algunas similitudes con el maíz de las Trancas debido a que los dos presentaron un ciclo de cultivo parecido.

Los Maíces Anchos de Guerrero y Morelos, a pesar de provenir de altitudes y ambientes similares, tuvieron un comportamiento muy diferente, el primero fue un maíz tardío, con alto IAF y DAFT, con baja TAN pero presentó un RG aceptable para los dos Ambientes; el segundo fue un maíz precoz con bajo IAF y DAFT, pero con una TAN muy alta teniendo un RG alto en Montecillos pero muy bajo en Teloloapan, lo cual sugiere que tiene mayor adaptación a los valles altos de México.

Las poblaciones de valles altos se destacaron por tener la mayor TAN en los dos ambientes; sin embargo, dentro de ellos se encontraron ligeras diferencias; el maíz de Cuecucuatitla se asemejó al de Las Trancas al ser más tardío, con alto IAF y DAFT en Teloloapan, y los maíces de Cuijingo y Tepetlixpa fueron los de menor IAF y DAFT, pero tuvieron los mayores RG en los dos ambientes

El maíz Mushito contrastó con el Ancho en todas las variables medidas en los dos ambientes: tuvo el ciclo biológico más largo, el mayor IAF y DAFT con la TAN más baja. Su rendimiento fue afectado por ser un maíz muy tardío.

Los resultados obtenidos sugieren que el ciclo de cultivo se determina por el área de adaptación; un maíz de ciclo biológico corto presenta buenos resultados en clima más frío, en este caso a los valles altos, pero es más susceptible al incremento de temperaturas; un maíz de ciclo largo presenta dificultades de adaptación a cambios de ambientes; y un maíz de ciclo intermedio tiene el potencial de adaptabilidad a ambientes contrastantes por su versatilidad a la respuesta de los factores externos.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar C., C., J. A. S. Escalante E. y I. Aguilar M. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33(1):51-62
- Aguilar J., J. A. y J.J. González R. 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. Pp.104
- Aragón C., F., S. Taba, J. M. Hernández, J. D. Figueroa, V. Serrano. 2006. Actualización de la Información sobre los Maíces Criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México D. F. 119 p.
- Carrera V., J. A., J. Ron P., A. A, Jiménez C., M. M. Morales R., F. Márquez S., L. Sahagún C., J. J. Sesmas G., M. Sitt M. 2011. Razas de Maíz de Michoacán de Ocampo. Su Origen, Relaciones Fitogeográficas y Filogenéticas. COECYT-Michoacán. CROMOGRAFF. Morelia, Michoacán. 150 p.
- Carrera V., J. A., J. Ron P., M. M. Morales R. 2012. Cinco Nuevas Razas de Maíz (*Zea mays L spp mays*) en el Occidente de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 144 p.
- 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.  
[http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6\\_Reunion esTalleres/Tabla%20razas\\_marzo%202010.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_Reunion esTalleres/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”. Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

- Escalante E., J. A. y J. Kohashi Shibata. 1993. El Rendimiento y Crecimiento del Frijol. Manual para la Toma de Datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- García E. 2005. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. México, D. F.
- Hellin J., A. Keleman, D. López, L. Donnet, y D. Flores. 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(6):315-328.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., R. A. Ortega P., A. Delgado A. 2013. Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1): 33-43.
- León L., P., M. Way, P. Davila-Aranda y M. Lima-Junior. 2012. The rol of ex situ seed Banks in the conservation of plant diversity and in ecological restoration in Latin America. *Plant Ecology & Diversity* 5(2): 245-258.
- Mapes S., C. y L.M. Mera. 2009. Manejo de la diversidad. En: Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye. Origen y Diversificación del Maíz: una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.116 pp.
- Martín L., J. G., J. Ron P., J. J. Sánchez G., L. De la Cruz L., M. M. Morales R., J. A. Carrera V., A. Ortega C., V. A. Vidal M. y M. J. Guerrero H. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del noroccidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4):331-340.
- Miranda C., S. 1966. Discusión sobre el origen y la evolución del maíz In: Memoria del Segundo Congreso Nacional de Fitogenética. Monterrey, N. L. pp. 233-253.
- Ortega P., R. 1979. Reestudio de las razas Mexicanas de maíz. Informe Anual. Campo Experimental de la Mesa Central. INIA. Chapingo, México.

- Ortega P., R. 2003. La diversidad del maíz en México. En: Sin Maíz No Hay País. G Esteva, C Marielle (eds). Culturas Populares de México. D.F., México. Pp:123-154.
- Pecina M., J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., y M. Mendoza R. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia*, 43(7): 681-694.
- Perales R., H. R. 1998, Conservation and Evolution of maize in Amecameca and Cuautla valleys of Mexico, PhD. Thesis. University of California, Davis. 350 p.
- Poethig, R. S. 2003. Phase change and the regulation of developmental Timing in Plants. *Science* 301: 334.
- Ron P., J., J. J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martín L., M. M. Morales R., L. de la Cruz L., S. A. Hurtado de la P., S. Mena M. y J. G. Rodríguez F. 2006. Maíces nativos del Occidente de México I. *Colectas 2004. Scientia-CUCBA* 8(1):1-139.
- Sanchez G., J. J. 1989. Relationships among the Mexican Races o maize. Ph. D. Thesis. North Carolina State University, Department of Crop Science. Raleigh, N. C. 187 p.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Tollenaar, M. 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science*. 31: 119–124.
- Wellhausen E.J., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P.C. Mangelsdorf. 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.

## DISCUSIÓN GENERAL

El maíz Ancho presentó una amplia diversidad genética que sigue un continuo morfológico. Agrupando las poblaciones por sus similitudes morfológicas se pudieron definir sub-razas las cuales presentan un patrón ecológico que puedes definirse en variantes regionales porque tanto las razas como sus agrupamientos tienden a ocupar un área ecológica específica (Ortega 2003).

Se definieron dos variantes regionales (Capítulo 2) que se delimitan en tres provincias geográficas bien definidas (Capítulo 3). La primera variante regional que presentó el grano muy ancho y mazorca más gruesa se ubicó en el Eje Neovolcánico Transmexicano. La segunda variante regional que se definió por tener la mazorca más alargada se ubicó en la Sierra Madre del Sur y las Sierras y Valles de Guerrero.

A pesar de la gran variedad de ambientes donde se localiza el maíz Ancho se logró definir el ambiente óptimo y origen de la raza del maíz Ancho, el cual se caracteriza por tener de 900-1000 mm de precipitación y 18-24 °C de temperatura media anual en un clima semicálido húmedo. Estos resultados difieren de los señalados por Ruiz *et al.* (2008), quienes determinaron una temperatura mínima de 16 y máxima de 23 con una media de 20.1°C y una precipitación mínima de 789 y máxima de 1224 con una media de 970mm.

Los patrones biogeográficos se definieron por la distribución original del maíz Ancho y las similitudes morfológicas y ambientales de las sub-razas definidas. Originalmente el maíz Ancho se distribuía en Morelos y Guerrero (Paczka, 1979), pero de acuerdo a los resultados de esta investigación, los maíces de Morelos y Guerrero se distinguieron como dos sub-razas con sus propias características especiales.

Los maíces de Guerrero presentaron el continuo morfológico en sub-razas de colores y forma de grano. Se observa que el continuo morfológico puede seguir un patrón geográfico, hacia el este con el maíz Bolita en Oaxaca y se propone que hacia el oeste, en Michoacán, fueron los originarios del Maízón de Chiniculia.

Los maíces de Anchos de Morelos no presentaron gran diversidad de color, puede ser debido a que la agricultura en este estado tiene mucha presión por

el mercado y el maíz blanco es el demandado para pozole. Sin embargo, los resultados obtenidos establecen que son los maíces con mayor variabilidad genética que les ayuda a tener adaptación en diferentes ambientes, resultado del amplio gradiente altitudinal presente en este estado. Por lo que se consideraron como la fuente de dispersión hacia los Valles Altos del Estado de México y Michoacán.

Estos resultados sustentan el papel sustancial de los agricultores en dos puntos: 1) conservan e incluso modifican la diversidad genética presente en sus territorios mediante el intercambio, flujo y experimentación de nuevas semillas (Kato et al., 2009). 2) mantienen las variedades locales tradicionales, al identificar, seleccionar y cultivar lotes de semillas que conforman conjuntos homogéneos, y hacen de una variedad local o nativa una unidad fenotípica bien definida (Louette y Smale, 1996).

Las poblaciones de maíces nativos presentan problemas agronómicos por lo cual la elección de poblaciones sobresalientes ayuda al mejoramiento de las mismas. Sin embargo la amplia distribución del maíz Ancho dificulta la elección de los sobresalientes, ya que deben de cubrir los diferentes nichos ecológicos donde se distribuye, porque las condiciones ambientales están asociadas con los diferentes patrones de variabilidad genética, lo que complica los procesos de adaptación de germoplasma a los factores ambientales (León *et. al.*, 2012).

Se definió que los maíces de Michoacán presentan el mejor rendimiento en ambientes tropicales y templados; en cambio los maíces de Guerrero y el Estado de México presentan rendimientos sobresalientes en su ambiente de origen. El maíz Ancho de Morelos presentó gran variabilidad de respuestas, hubo poblaciones con rendimientos sobresalientes en los dos ambientes, otras en los ambientes tropicales o ambientes templados. Estos resultados, sugieren que el rendimiento de grano de maíz varía entre genotipos, por lo tanto, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agroecosistema, y el manejo más apropiado para un mejor aprovechamiento de su potencial genético (Aguilar *et al.*, 2015).

## **CONCLUSIONES GENERAL**

El maíz Ancho tiene una gran amplitud genética para adaptarse diversos ambientes, lo cual ha incrementado su dispersión en los últimos años. Se considera el ambiente óptimo y de origen del maíz Ancho, de 900-1000 mm de precipitación y 18-24°C de temperatura en un clima semicálido húmedo.

Se definió la distribución del maíz Ancho en tres provincias fisiográficas (Eje Neovolcánico Transmexicano, Sierra Madre del Sur y Sierras y Valles Guerrerenses), las cuales tienen características ambientales bien definidas que podrían generar diferencias genéticas a corto, mediano o largo plazo.

El nicho presente al norte de Morelos se propone como posible ruta de adaptación del maíz Ancho a los valles altos, por presentar ambientes similares y tener una gran variabilidad genética en sus poblaciones.

Michoacán es un Estado que proporciona las condiciones ambientales para generar gran diversidad de esta raza, además de que sus poblaciones presentan rendimientos sobresalientes en varios ambientes, por lo que se recomienda monitorear su diversidad de maíz en los años futuros.

## LITERATURA GENERAL

- Aguilar C., C., J. A. S. Escalante E. y I. Aguilar M. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 33(1):51-62
- Aguilar C., J. A., Carballo C., A., Castillo G., F., Santacruz V., A., Mejia C., A., Crossa H., J. y Baca C., G. 2006. Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México* 32 (1): 57- 66.
- Aguilar J., J. A. y J.J. González R. 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. Pp.104
- Benz, B. F. 1986. Taxonomy and evolution of Mexican maize. Tesis Ph.D., University of Wisconsin, Madison. 433p.
- Burgos M., L. A.; Chávez S., J. L. y Ortiz C., J. 2004 Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. In: Chávez- Servia, J. L.; Tuxill, J. y Jarvis, D. I. (eds.) Manejo de la diversidad de los cultivos en los agro ecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. p. 58-66.
- Caballero H., F. y T. Cervantes S. 1990. Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño. *Agrociencia, serie Fitotecnia* 1(2):43-63.
- Camacho V., T. C. y Cávez S., J. L. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. In: Chávez- Servia, J. L.; Tuxill, J. y Jarvis, D. I. (eds.) Manejo de la diversidad de los cultivos en los agro ecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. p. 47-57.
- Carrera V., J. A., J. Ron P. y M. M. Morales R. 2012. Cinco Nuevas Razas de Maíz (*Zea mays L spp mays*) en el Occidente de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. Pp. 144.

- Carrera V., J. A., J. Ron P., A. A, Jiménez C., M. M. Morales R., F. Márquez S., L. Sahagún C., J. J. Sesmas G. y M. Sitt M. 2011. Razas de maíz de Michoacán de Ocampo. Su origen, relaciones fitogeográficas y filogenéticas. COECYT-Michoacán. CROMOGRAFF. Morelia, Michoacán. 150 p.
- 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. [http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6\\_ReunionesTalleres/Tabla%20razas\\_marzo%202010.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf)
- Hellin J., A. Keleman, D. López, L. Donnet, y D. Flores. 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(6):315-328.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3–30
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C. y M. M. Goodman. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38(2):191-206.
- Herrera, C., E.B; F., Castillo. G; J.J., Sánchez, G; J.M., Hernández, C; R.A., Ortega, P y M., Major, G. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: Caso la raza Chalqueño. *Agrociencia*. 23:335-353.
- Kato Y., T. A., C. Mapes, L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Pp. 115.
- León L., P., M. Way, P. Davila-Aranda y M. Lima-Junior. 2012. The rol of ex situ seed Banks in the conservation of plant diversity and in ecological restoration in Latin America. *Plant Ecology & Diversity* 5(2): 245-258.

- Lopez R., A.; Kato Y., A. T. and Castillo G., F. 1995. Karyotypic characterization of the race Jala of maize. *Maydica* 40:233-244.
- Louette D y Smale. 1996. Genetic diversity and maize seed management in a traditional Mexican community: Implications for *in situ* conservation of maize. NRG papers 96-03. CIMMYT. México, D.F. 21p.
- Mapes S., C. y L.M. Mera. 2009. Manejo de la diversidad. En: Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Sserratos, R.A. Bye. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler y J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.
- Muñoz O., A. 2005. Centli-maíz: prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico. Programa Nacional de Recursos Fitogenéticos SNICS-SAGARPA. México, D.F. Pp. 133-142.
- Ortega P., R. 1979. Reestudio de las razas Mexicanas de maíz. Informe Anual. Campo Experimental de la Mesa Central. INIA. Chapingo, México.
- Ortega P., R. 1985. Variedades y razas Mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Traducción abreviada Ph. D. Thesis. N.I. Vavilov National Institute of Plants. Leningrad, U.S.S.R. 22p.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad del maíz en México. En: Sin Maíz No Hay País. G Esteva, C. Marielle (eds). Culturas Populares de México. D.F., México. pp:123-154.
- Perales R., H. R., 1998, "Conservation and Evolution of maize in Amecameca and Cuautla valleys of Mexico", PhD. Thesis. University of California, Davis. 350p.

- Rice, E. B. 2004. Conservation and change: a comparison of *in-situ* and *ex-situ* conservation of Jala maize germplasm in Mexico. Ph D. Dissertation. Cornell University. Ithaca, N.Y., USA. 120p.
- Romero P., J.; Castillo G., F. y Ortega P., R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: grupos genéticos, diversidad genética y heterosis. Rev. Fitotecnia Mexicana. 25 (1): 107-115.
- Ron P., J., J. J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martín L., M. M. Morales R., L. de la Cruz L., S. A. Hurtado de la P., S. Mena M. y J. G. Rodríguez F. 2006. Maíces nativos del Occidente de México I. Colectas 2004. Scientia-CUCBA 8(1):1-139.
- Ruiz C., J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez, G., R. Ron P., D. R. González E., G. Medina G., y Holland. B. J. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. Crop Sci. 48:1502-1512.
- Sánchez G, J.J. 1989. Relationships among the Mexican races of maize. Tesis Ph.D., North Carolina State University, Raleigh. 187p.
- Silva C., E. G. 1992. Estudio agronómico y taxonómico de colecciones de la raza de maíz cónico, su colección central y perspectivas de uso en mejoramiento genético. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Centro de Genética. Motecillos, Estado de México, México. 116 p.
- Vavilov, N. I. 1926: Studies on the origin of cultivated plants. (Russian) Bulletin of Applied Botany and Plant Breeding, 14: 1–245.
- Wellhausen E.J., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P.C. Mangelsdorf. 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.