

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

RAZAS DE **TEOCINTLE** EN MICHOACÁN

Su origen, distribución y caracterización
morfológica



José Alfredo Carrera-Valtierra¹ • José Ron Parra² • Ángel Andrés Jiménez Cordero²
Moisés Martín Morales Rivera² Roberto Miranda Medrano³ •
Luis Sahagún Castellanos⁴ • J. Trinidad Díaz Vilchis

¹Centro Regional Universitario Centro Occidente (CRUCO) de la Universidad Autónoma Chapingo.
Periférico Independencia Pte. No. 1000, Col. Lomas del Valle. Morelia, Mich. CP 58170.
carrera6412@yahoo.com.mx.

²Instituto de Manejo y Aprovechamiento de Recursos Fitogenéticos (IMAREFI)-Centro Universitario
de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carretera
a Nogales, CP 51110. Zapopan, Jalisco.

³Centro Universitario Costa Sur (CUCSUR) de la Universidad de Guadalajara, Autlán, Jalisco.

⁴Centro Regional Universitario de Occidente de la Universidad Autónoma Chapingo,
Rosario Castellanos No. 2332, Guadalajara, Jal.

⁵Centro de Agronegocios-SEDRU-Michoacán.

RAZAS DE **TEOCINTLE** EN MICHOACÁN
Su origen, distribución y caracterización
morfológica



Autores: José Alfredo Carrera-Valtierra • José Ron Parra • Ángel Andrés Jiménez Cordero
Moisés Martín Morales Rivera • Roberto Miranda Medrano
Luis Sahagún Castellanos • J. Trinidad Díaz Vilchis

Formación y portada: Tito Rosales

Primera edición en español, mayo 2012

ISBN:

DR © Universidad Autónoma Chapingo
Km 38.5 carretera México-Texcoco
Chapingo, Texcoco, Edo. de México, CP 56230
Tel: 01(595) 9521500 Ext. 5142

Todos los derechos reservados. Cualquier forma de reproducción (total o parcial), distribución, comunicación pública o transformación de esta obra, por cualquier otro medio requiere autorización de los Representantes legales de la obra, salvo en las excepciones previstas por la Ley Federal de Derecho de Autor.

Impreso en México

RAZAS DE **TEOCINTLE** EN MICHOACÁN

Su origen, distribución y caracterización morfológica

José Alfredo Carrera-Valtierra¹ • José Ron Parra² • Ángel Andrés Jiménez Cordero²
Moisés Martín Morales Rivera² • Roberto Miranda Medrano³
Luis Sahagún Castellanos⁴ • J. Trinidad Díaz Vilchis⁵



DIRECTORIO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Rector

Dr. Aureliano Peña Lomelí

Director General Académico

Dr. Marcos Portillo Vázquez

Director General de Investigación y Posgrado

Dr. Héctor Lozoya Saldaña

Director General de Administración

Dr. Jesús María Garza López

Director General de Patonato Universitario

M.C. Ignacio Miranda Velázquez

Director General de Difusión Cultural y Servicio

M.I. Martín Soto Escobar

Jefe del Departamento de Publicaciones

Lic. Martha Eloisa Reyes Olivar

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA
Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA)

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda

Servicio Nacional de Inspección y Certificación
de Semillas (SNICS)

Ing. Enriqueta Molina Macías

Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos
para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI)

Red Maíz. MC. Rosalinda González Santos

GOBERNADOR CONSTITUCIONAL
DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Dr. Leonel Godoy Rangel

Secretaría de Gobierno

M.D. Fidel Calderón Torreblanca

Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA)

M.C. Catalina Rosas Monge

Dirección de Ordenamiento y Protección
del Patrimonio Natural

M.C. Neyra Sosa Gutiérrez

Secretaría de Educación en el Estado (SEE)

M.C. Graciela Carmina Andrade García Peláez

Subjefatura Técnico Pedagógica

Mtro. José Miguel González Corona

Coordinación Estatal de Tecnologías de E.S.T.

Ing. Moisés Machado Morales

Secretaría de Desarrollo Rural (SEDRU)

Ing. María del Carmen Trejo Rodríguez

Secretaría de Salud

Dr. Román Armando Luna Escalante

Secretaría de Desarrollo Económico

Ing. Isidoro Ruíz Argáiz

Secretaría de Política Social

Lic. Selene Lucía Vázquez Alatorre

Secretaría de Turismo

Dr. Jaime Genovevo Figueroa Zamudio

Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas

Ing. Desiderio Camacho Garibo

Secretaría de Finanzas y Administración

C.P. Ricardo Humberto Suárez López

Secretaría de los Jóvenes

C. Iris Mendoza Mendoza

Secretaría del Migrante

C. Zaira Eréndira Mandujano Fernández

Secretaría de la Mujer

Profra. Cristina Portillo Ayala

Secretaría de Cultura

Mtro. Jaime Hernández Díaz

Secretaría de los Pueblos Indígenas

Profr. Alfonso Vargas Romero

Secretaría de Seguridad Pública

Gral. de División D.E.M. Manuel García Ruíz

Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT)

L.E. Pedro Mata Vázquez

Subdirección de Difusión

D.G. Lilia Vázquez Diego



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedicamos a nuestro amigo Dr. Tarcicio Cervantes Santana (†) quien fue Profesor-Investigador del Colegio de Postgraduados y trabajó arduamente en la clasificación de las razas de maíz de México, así como en el estudio de las interrelaciones de parentesco entre los teocintles anuales de México. Dr. Cervantes, gracias por sus conocimientos transmitidos y su amistad. Descanse en paz (†).

Al Dr. Salvador Miranda Colín, quien fue profesor del primer autor de evolución orgánica en el Colegio de Postgraduados y además propuso que el Occidente de México, fue centro de domesticación del maíz. Los resultados obtenidos en éste trabajo indican que efectivamente en la región Ciénega de Chapala (El Opeño) hubo un proceso de predomesticación y diversificación del teocintle spp *mexicana* el cual dio origen a varias razas de la misma especie en el Occidente, Norte y Valle de México, sin embargo, otros investigadores indican que la spp *mexicana* no dio origen a maíz (spp *mays*).

Al Dr. José de Jesús Sánchez González, quien en la Universidad de Guadalajara junto con otros destacados investigadores ha formado un grupo en Recursos Fitogenéticos (IMAREFI), por su amplio conocimiento y dedicación al estudio de las razas de maíz y teocintle en México.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Centro Regional Universitario Centro Occidente (CRUCO) de la Dirección Centros Regionales Universitarios (DCRU) pertenecientes a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y financiado por los siguientes proyectos de investigación.

Estudio de la diversidad genética y su distribución de los maíces criollos y sus parientes silvestres en Michoacán de Ocampo con clave FZ001/07. Financiamiento: FONDO PARA LA BIODIVERSIDAD de la Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad de la CONABIO.

Estudio de la diversidad de maíces criollos en el estado de Michoacán de Ocampo y áreas adyacentes de Jalisco y Colima con clave FZ023. Financiamiento: CONABIO y la DCRU.

Al Dr. José de Jesús Sánchez González del Instituto de Manejo y Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos (IMAREFI) del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara (UdeG) por su valiosa participación y asesoría en los teocintles de Michoacán.

A los Dres. E. S. Buckler del USDA-ARS, Departamento de Mejoramiento Genético de la Universidad de Cornell y J. F. Doebley del Departamento de Genética de la Universidad de Wisconsin por su asesoría para definir parte de las rutas de migración del teocintle en Michoacán.



CONTENIDO

Resumen	15
Summary	17
Introducción	19
CAPÍTULO I. EL TEOCINTLE Y EL HOMBRE	23
El teocintle en México	23
 Origen y diversificación del teocintle	23
Razas de teocintle en México y su distribución	26
Razas de teocintle en Michoacán y su distribución	27
Diversidad étnica en México	28
Grupos étnicos en México	28
 Grupos étnicos y su relación con la distribución del maíz y el teocintle	29
Grupos étnicos en el estado de Michoacán	30
P'urhépechas	30
Chichimecas	32
Matlatzincas	33
Nahuas	33
Mazahua	35
Otomíes	35
 Caminos prehispánicos, coloniales y rutas de migración humana	36
Origen y domesticación del maíz	38

CAPÍTULO II. CLASIFICACIÓN RACIAL **40**



Concepto de raza	40
Clasificación racial del teocintle	41
Caracteres apropiados para la clasificación racial de maíz	42
Métodos para estimar la diversidad de maíz	45
Taxonomía numérica	45
Distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2)	46
Distancia Euclidiana	46
Coefficiente de correlación (r) o su complemento (rc)	46
Métodos multivariados de agrupamiento	47
Análisis discriminante canónico	47
Análisis de componentes principales	47
Análisis de conglomerados	48



CAPÍTULO III. METODOLOGÍA **50**

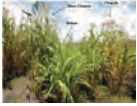


Recolecta de muestras de teocintle	50
Identificación racial preliminar	55
Material genético evaluado para la caracterización morfológica	55
Localidades de evaluación	58
Manejo agronómico	58
Caracteres morfológicos evaluados	58
Análisis estadístico de la información	61

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **62**



Análisis de varianza univariado y multivariado	62
Comparación de medias de las características agronómicas entre razas	64
Descripción morfológica de las razas de teocintle en Michoacán	68
Similitudes y diferencias entre la spp parviglumis y mexicana, así como entre las razas Balsas, Chapala y Mesa Central	73



Clasificación con taxonomía numérica	75
Análisis de conglomerados	75
Análisis discriminante canónico	77
Distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2)	77
Funciones discriminantes	78
Análisis de componentes principales	84

CONCLUSIONES	87
---------------------	-----------

LITERATURA CITADA	89
--------------------------	----

RESUMEN

Escribir una historia sobre la evolución del maíz (*Zea mays* spp *mays*) y sus parientes silvestres, continuará siendo un intento más por completar un rompecabezas con tres cuartas partes de sus piezas ausentes. Sobre su origen se ha aceptado la hipótesis que se originó a partir del teocintle anual raza Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*), proveniente de la parte central en la región Balsas del estado de Guerrero, sin embargo, para ambas subespecies aún quedan muchas preguntas por responder sobre cuándo y cómo ocurrió el proceso de domesticación y dispersión. Para continuar armando este rompecabezas se usó información ya generada por otros investigadores, además de esta investigación.

Los objetivos de este trabajo fueron: recolectar los teocintles anuales y perennes en el estado de Michoacán para posteriormente; caracterizarlos morfológicamente y establecer sus posibles relaciones filogenéticas y fitogeográficas. Los resultados obtenidos con taxonomía numérica permitieron separar morfológicamente las poblaciones de teocintle ubicadas en los alrededores de la Laguna de Chapala de las del Lago de Cuitzeo, en razas Chapala y Mesa Central; respectivamente, ambas pertenecientes a la spp *mexicana*.

De las siete razas de teocintle en México, en Michoacán se distribuyen Chapala, Mesa Central y Chalco pertenecientes a la spp *mexicana*, Balsas a la spp *Parviglumis* y una tetraploide de reciente recolección a la spp *perennis*. Se sugiere como centro de predomesticación, diversificación y dispersión del teocintle spp *mexicana* a la región de la Laguna de Chapala, ya que al parecer la raza Chapala es el sucesor inmediato de la spp *parviglumis*, así como el progenitor de las razas Mesa Central de Cuitzeo, Nabogame y

Durango, y posiblemente también de la raza Chalco. Se acepta la hipótesis que el teocintle raza Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*) fue introducido de la región central del estado de Guerrero, donde se distribuye la raza Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*), y no a través de los ríos Santiago-Lerma o Armeria-Tuxcacuexco hacia la laguna de Chapala. Por el alto parecido morfológico entre la spp *mays* y *mexicana*, es posible que las dos subespecies fueran domesticadas a partir de la spp *parviglumis*, siguiendo dos rutas evolutivas, usando criterios de selección similares.

Palabras clave: Teocintles, corredores biológicos culturales, predomesticación, diferenciación morfológica, dispersión.

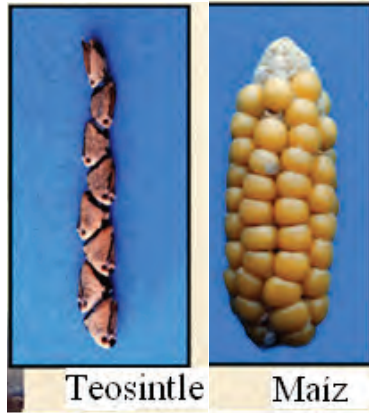
SUMMARY

Write a story about the evolution of maize (*Zea mays* L. spp *mays*) and its wild relatives will continue to be an attempt to complete a puzzle with three-quarters of its missing parts. The hypothesis on the origin that has been accepted is that maize was originated from the annual teocintle Balsas race (*Zea mays* spp *parviglumis*) located in the central part of the State of Guerrero; however, for both subspecies are still many questions to answer about when and how did the process of domestication and dispersion occur. Information already generated by other researchers and of this research was used to continue putting together this puzzle. According to the above, the objectives of this work were: collect the annual and perennial teocintles in the Mexican State of Michoacán to later characterize them morphologically and establish their possible phylogenetic and phytogeographical relationships. The results obtained with numerical taxonomy allowed separate morphologically to populations of teocintle located surrounding the Lake of Chapala and the Lake Cuitzeo into Chapala and Mesa Central races; respectively, both to the same spp *mexicana*. Of the seven races of teocintle in Mexico, annual races Chapala, Mesa Central and Chalco belonging to the spp *mexicana*, Balsas to the spp *parviglumis* and a tetraploid of recent collection to the *Zea perennis* are distributed in Michoacán de Ocampo. It is suggested as a centre of predomesticación, diversification and dispersal routes of the teocintle spp *mexicana* to the region of the Lake of Chapala due to apparently race Chapala is the immediate successor of the spp *parviglumis* and the parent of the Mesa Central of Cuitzeo, Nabogame, Chihuahua, Durango, and possibly also of Chalco race. Acceptance of the hypothesis that the teocintle Chapala race (*Zea mays* spp *mexicana*) was introduced from the central part of the State of Guerrero where Balsas race (*Zea mays* L. spp *parviglumis*)



is distributed and not through the Santiago-Lerma River or Armeria-Tuxcacuexco to the lagoon of Chapala. By the high morphological similarity between the spp *mays* and *mexicana* it is possible that the two subspecies were domesticated from the spp *parviglumis* following two evolutionary routes using similar criteria for selection.

Keywords: Teocintles, cultural and biological corridors, predomesticación, morphological differentiation, dispersal routes.



INTRODUCCIÓN

El ancestro del teocintle se originó en Centroamérica, en el área de Nicaragua y Guatemala; de ahí fue dispersado por la cuenca del Pacífico hasta el norte de México (Miranda, 2005). En México existen cinco razas de teocintle anual. Wilkes (1967) reporta cuatro: Nabogame, la cual se distribuye en el sur del estado de Chihuahua; Mesa Central en el norte del estado de Michoacán y sur de Guanajuato; Chalco en los alrededores de Chalco y Texcoco, en el Estado de México; y Balsas en la región tropical en los estados de Oaxaca, Guerrero, Estado de México, Michoacán, Colima Jalisco y Nayarit, por otra parte Doebley (1983) reporta la raza Durango. Además de los teocintles anuales, Guzmán (1982) reporta la existencia de dos teocintles perennes en Jalisco, uno diploide ($2n=20$) y otro tetraploide ($2n=40$). Con base en características de la espiga, Doebley e Iltis (1980) e Iltis y Doebley (1980) propusieron una nueva división del género *Zea* a la ya propuesta por Wilkes (1967).

Los teocintles anuales pertenecientes a las razas Nabogame, Durango, Mesa Central y Chalco los ubicaron dentro de la spp *mexicana*, y a Balsas en la spp *parviglumis*, mientras que al perenne diploide como *Zea diploperennis*, así como al tetraploide como *Zea perennis*. De acuerdo con Buckler *et al.*, (2006), la spp *mexicana* evolucionó a partir de la spp



parviglumis; y al parecer las poblaciones del norte de Michoacán y sur de Guanajuato tienen parentesco con las del área montañosa de Ixcateopan (Mazatlán-El Salado), ubicadas en la parte central del Estado de Guerrero (Smith *et al.*, 1984), de la raza conocida como Balsas Central (Matsuoka *et al.*, 2002). Sobre cómo se introdujo el teocintle Balsas de Guerrero al norte de Michoacán y sur de Guanajuato no está documentado; sin embargo, se contemplan algunas hipótesis: que se haya introducido a través de la ruta del Pacífico; propuesta por Sauer (1932), la cual pasa por la parte central de Guerrero y llega a la zona arqueológica de Tzintzuntzán en el estado de Michoacán (Fournier, 2006), otra posibilidad es que haya sido introducida por los P'urhépechas que habitaron la parte occidental del mismo Estado, o quizá por las culturas Teotihuacanas y Toltecas que habitaron esta región antes de la llegada de los P'urhépechas (Figura 5).

En el área subtropical, en los alrededores del Lago de Cuitzeo hasta la Laguna de Chapala, Sánchez y Ruíz (1998) reportan que se distribuye la raza Mesa Central, en la parte templada ubicada en el Eje Volcánico Transversal, en los municipios de Hidalgo y Opopeo, así como en Salvador Escalante la raza Chalco, y en la región tropical principalmente la de Tierra Caliente a la raza Balsas. Recientemente, el Programa de Maíz del Centro Regional Universitario de Occidente perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, encontró en Ziracuaretiro, Michoacán teocintle perenne (*Zea perennis*) y es probable que también exista *Zea diploperennis*, debido a que es progenitor de *Zea perennis* (Doebley e Iltis, 1980; Doebley *et al.*, 1984). Según Wilkes (1995), todas estas razas de teocintle se distribuyen de manera semiaislada; sin embargo, predominan en áreas arqueológicas que fueron o son habitadas por grupos étnicos.

En Michoacán, en una parte del área habitada por la etnia P'urhépecha (alrededores de Tzintzuntzán), al teocintle lo denominan K'undaz, palabra que se usa también cuando dos personas contraen matrimonio y significa "junto a", lo cual hace relación a que tanto el maíz como el hombre después de su encuentro han permanecido juntos, de ahí que se diga que el maíz es el mayor invento del hombre, producto de un largo proceso de domesticación (Beadle, 1939).

Entre los años 1500 a 1200 a. C. tuvo auge el desarrollo de la agricultura, sobre todo en la región Ciénega de Chapal (el Opeño) y Chupícuaro, Guanajuato (cerca de Acámbaro). En la primer región, Miranda (2005)



indica que ésta forma parte del centro de domesticación del maíz, en ella existe un teocintle que comparte características morfológicas intermedias entre las razas Balsas y Mesa Central (Sánchez *et al.*, 1998); por lo que algunos investigadores lo han denominado *parviglumis-mexicana*, debido a que pudiera representar un punto intermedio o ser un híbrido entre estas dos razas (Matsuoka *et al.*, 2002). De acuerdo al mismo Matsuoka *et al.*, (2002), se menciona que en esta área de la Mesa Central se diversificó la spp *mexicana*, por lo que el hombre pudo haber participado en su proceso evolutivo. Por lo ya expuesto, los objetivos de esta investigación fueron: recolectar los teocintles anuales y perennes en el estado de Michoacán, para posteriormente caracterizarlos morfológicamente y establecer sus posibles relaciones filogenéticas y fitogeográficas.

CAPÍTULO I

EL TEOCINTLE Y EL HOMBRE

EL TEOCINTLE EN MÉXICO

Origen y diversificación del teocintle

Los teocintles son un conjunto de pastos o gramíneas que se originaron en Centroamérica, en el área de Nicaragua y Guatemala, de donde fueron dispersados por el hombre hacia más allá del paralelo 20 de latitud norte en México (Miranda, 2005). A partir del teocintle raza Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*) de la parte centro-este del estado de Guerrero (Figura 1A), evolucionaron el resto de los teocintles de la misma raza, u otras razas de diferente subespecie como la *ssp mexicana* (Buckler *et al.*, 2006), la cual incluye las razas Mesa Central, Durango, Nabogame y Chalco; de las anteriores, la más evolucionada es Chalco, debido a que tiene mayor similitud morfológica con el maíz domesticado (*Zea mays* spp *mays*) (Wilkes, 1967).

En la Figura 1A se observa que las razas Durango y Nobogame (Nabogame) se agrupan con la raza Mesa Central; formando dos subgrupos, resultados que coinciden con los obtenidos por Sánchez *et al.* (1998). También se puede observar que la raza Balsas presenta una amplia variación (Balsas



Central del este y oeste, sur de Guerrero, Oaxaca y Jalisco), por lo que al igual que la *ssp mexicana*, la *ssp parviglumis* debería dividirse en razas: Jalisco, sureste de Guerrero y Balsas Central (Doebley, 1990a, 1990b). En cuanto a parentesco entre teocintle y maíz, se observa que las poblaciones de la raza Balsas y las de Balsas Central se agruparon muy próximas a *Zea mays* *ssp mays*, lo cual indica que pudieran ser el origen de la evolución del maíz domesticado.

De los resultados obtenidos por los estudios de parentesco, Fukunaga *et al.*, (2005), encontraron que el maíz contiene un 25% o más de germoplasma de teocintle *ssp parviglumis*, mientras que de la *ssp mexicana* (Chalco y Mesa Central) solo un 8%. En base a lo anterior, Kato *et al.*, (2009) se hicieron el cuestionamiento de cómo explicar que el teocintle Chalco que contiene menor cantidad de germoplasma de maíz, sea el más parecido a éste; y que, por el contrario, el teocintle que contiene una mayor proporción de germoplasma ancestral del maíz, muestre menor similitud.

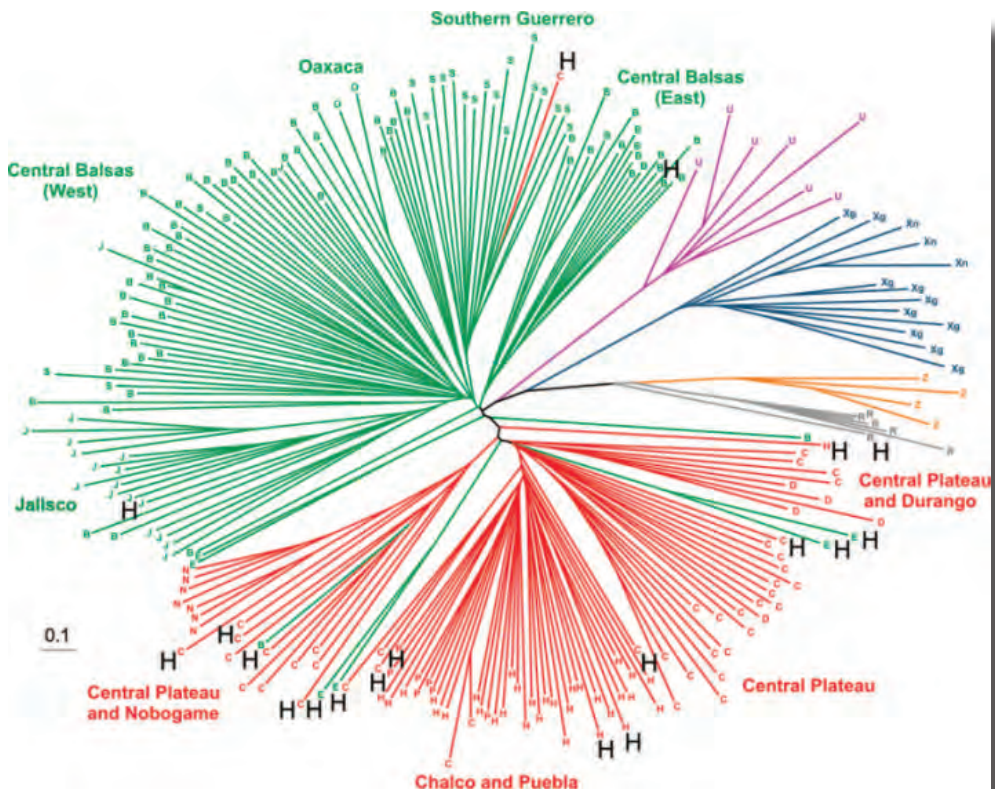


Figura 1A. Diversificación del teocintle en México. Tomado de Fukunaga *et al.*, (2005)

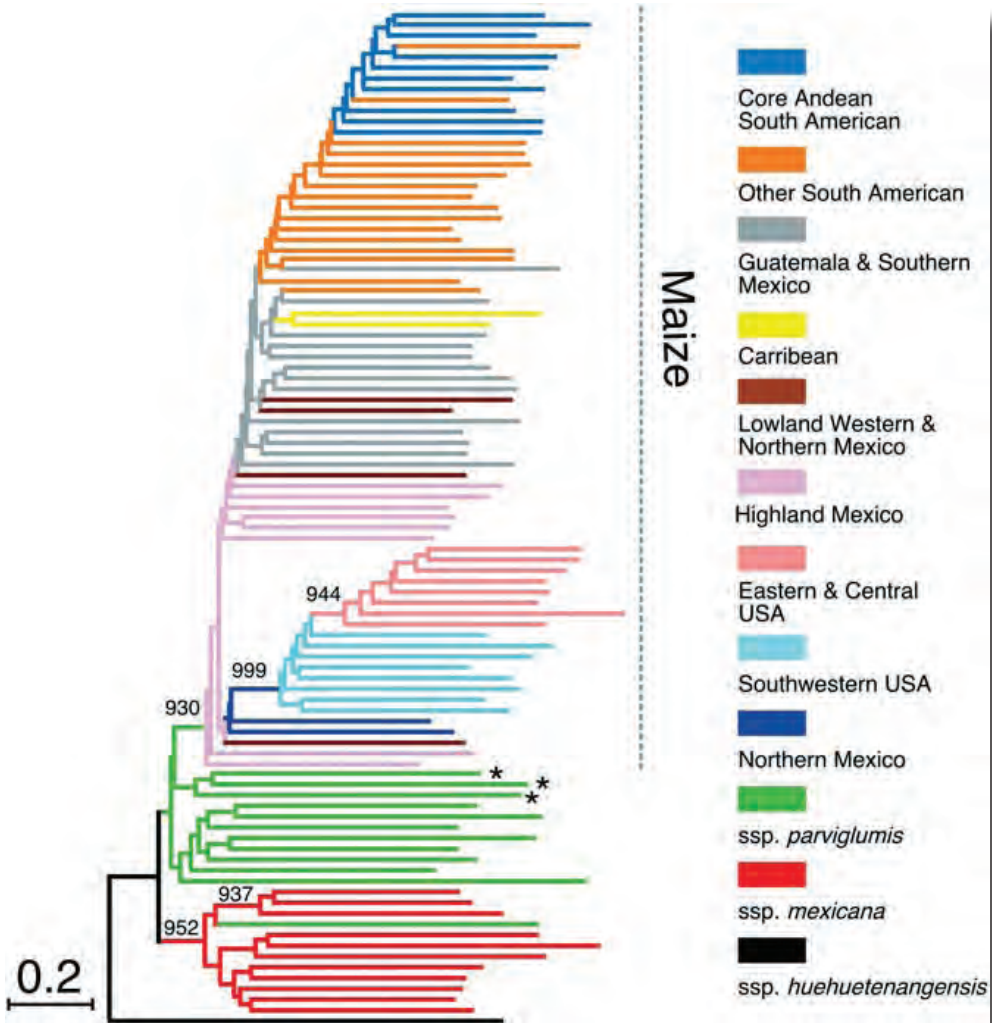


Figura 1B. Filogenia de maíz y teocintle anual mexicano. Tomado de Doebley (2004). Rutas evolutivas: una que da origen a la diversidad de maíz cultivado y otra a la *spp mexicana*

El cuestionamiento que hace el Dr. Kato parece bastante razonable, y podría tener su explicación en base a que en la evolución del maíz y el teocintle existieron dos rutas evolutivas paralelas e independientes, a partir de la *spp parviglumis* (domesticación bifléctica); una para maíz y otra para la *spp mexicana*, en donde posiblemente se usaron criterios de selección similares. En la Figura 1B, se puede observar que a partir de la *spp parviglumis* se forman dos rutas: una que da origen a *spp mexicana* y otra a la *spp mays*.



Razas de teocintle en México y su distribución

El maíz silvestre (teocintle anual) fue primeramente descrito por Schrader como *Euchlaena mexicana* en 1832; posteriormente, debido a que el maíz y el teocintle forman híbridos fértiles, Kuntze propone el cambio de *Euchlaena* a *Zea*, y reconoce dos especies: *Zea mays* para maíz cultivado y *Zea mexicana* (Schrader) Kuntze para teocintle (Wilkes, 1967). De acuerdo con Wilkes (1967), en México se distribuyen cuatro razas de teocintle anual: Nabogame, Mesa Central, Chalco y Balsas, y más tarde Doebley (1982) redescubre la raza Durango. Desde un punto de vista taxonómico y usando características de la espiga, Doebley e Iltis (1980) e Iltis y Doebley (1980) propusieron una nueva división del género *Zea*, mismo que se dividió en dos grupos: i) sección Luxurians, en el que se incluye a *Zea perennis*, *Zea diploperennis* y *Zea Luxurians*, y ii) la sección *Zea*: que incluye a *Zea mays* dividido en: *Zea mays* spp *mexicana* misma que incluye las razas Chalco, Mesa Central, Durango y Nabogame; *Zea mays* spp *parviglumis* que incluye las razas Balsas y Huehuetenango, y *Zea mays* spp *mays* para el maíz domesticado (Figura 2).

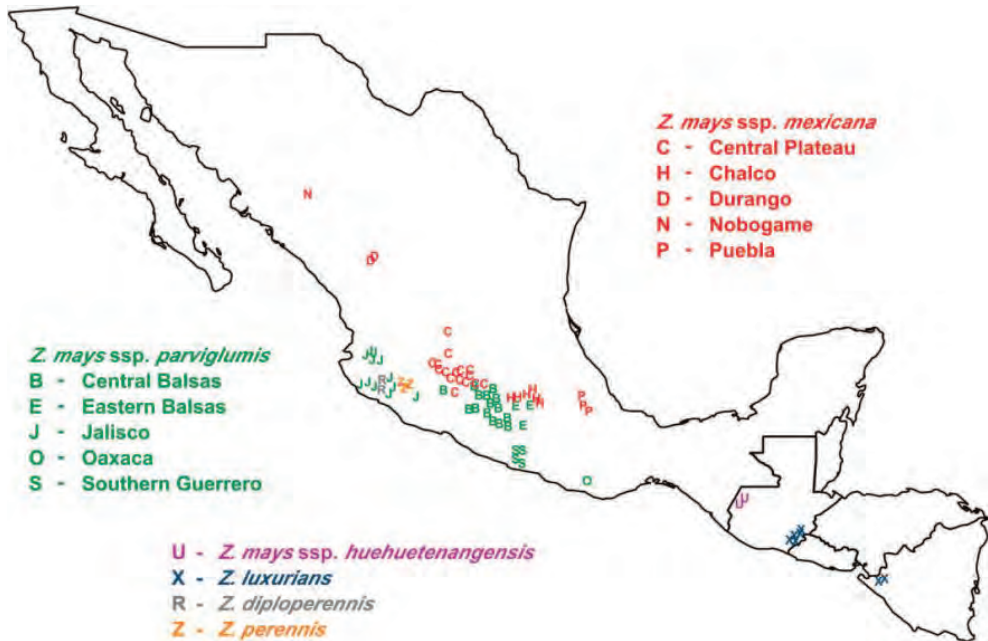


Figura 2. Distribución del teocintle en México. Tomado de Fukunaga et al., (2005)

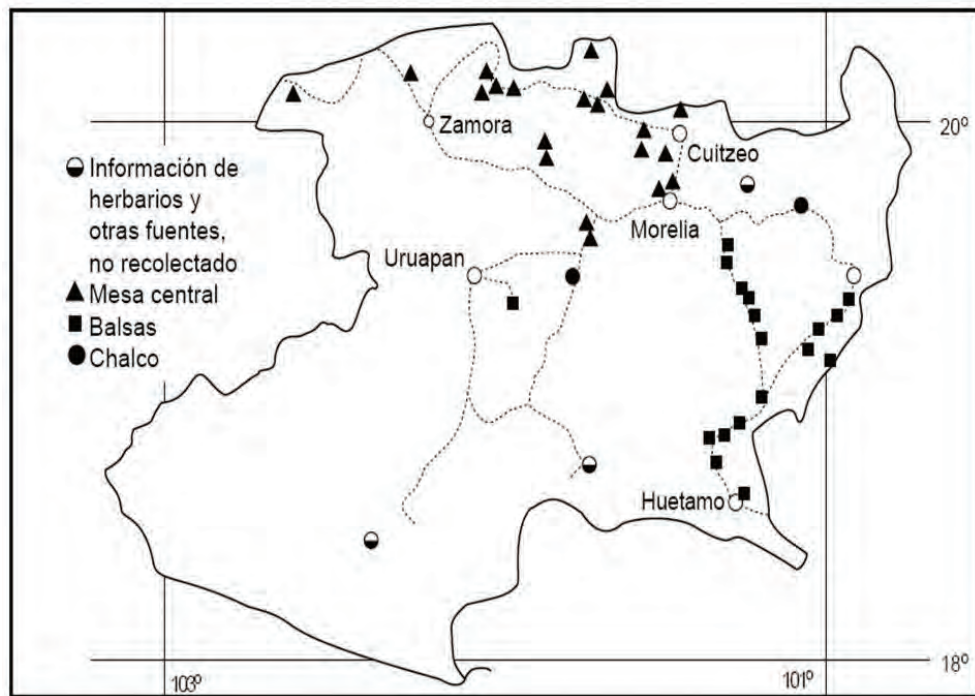


Figura 3. Razas de teocintle anual en Michoacán y su distribución

Razas de teocintle en Michoacán y su distribución

De las siete razas de teocintle en México, en Michoacán se distribuyen las anuales diploides Mesa Central y Chalco pertenecientes a la spp *mexicana*, Balsas a la spp *parviglumis* (Figura 3) y *Zea perennis* a los perennes tetraploides. La spp *mexicana* se distribuye en la parte subtropical del Estado, desde los alrededores del Lago de Cuitzeo hasta la Laguna de Chapala con climas templados A(C) y (A)C, precipitaciones anuales de 700 a 1000 mm, temperaturas medias de 16 a 22°C y altitudes entre 1320 a 1700 msnm. La spp *parviglumis* se distribuye desde la región de Tierra Caliente hasta Taretan, con climas cálido secos BS y cálido húmedos A^(w), con precipitaciones anuales de 800 a 1349 mm, temperatura media anual desde 20 a 29°C y altitudes de 670 a 1349 msnm, mientras que *Zea perennis* se encontró en el año 2011 en Ziracuaretiro, muy cerca de donde se distribuye la spp *parviglumis* de Taretan, aunque a mayor altitud (1250 msnm) colindando con el bosque de pino.



DIVERSIDAD ÉTNICA EN MÉXICO

Grupos étnicos en México

En México se encuentran 54 grupos étnicos (Figura 4), de los cuales 5 se distribuyen en Michoacán. De los 54 grupos, los Olmecas se consideran la cultura más antigua que habitó nuestro país en la era Preclásica hace 2000 años a. C. y 300 de nuestra era. En el Periodo Clásico sobresalieron las culturas establecidas en Teotihuacán, en el Valle de México; en Monte Albán en el estado de Oaxaca, y en Bonampak en Chiapas. En el Posclásico; el cual inició en el año 900 y concluyó en 1521 con la conquista de los españoles, prosperaron las culturas Mexica, Tolteca y Maya. A nivel nacional el grupo étnico más importante es el Nahuatl y en Michoacán: el



Figura 4. Mapa que indica los grupos étnicos de México



P'urhépecha (Tarasco). En el estado de Oaxaca se encuentra la mayor diversidad étnica, en donde se distribuyen los grupos étnicos: Amuzgo, Chinanteco, Cuicateco, Huave, Ixcateco, Mazateco, Mixe y Mixteco.

Grupos étnicos de México y su relación con la distribución del maíz y el teocintle

Benz (1986) fue el primero en establecer en Oaxaca, una estrecha relación entre grupos étnicos y maíz. Posteriormente, en este mismo Estado, Aragón *et al.*, (2006) reconsideran este criterio de coevolución maíz-grupo étnico, e indican que: la raza Zapalote Chico se siembra en el Istmo de Tehuantepec por los Zapotecos; Bolita por los Zapotecos del Valle; Olotón, Serrano y Tepecintle por los Mixes; Chalqueño, Cónico, Olotón, Arrocillo Amarillo y Comiteco por los Mixtecos; Olotillo, Tuxpeño y Conejo por los Mixtecos de la Costa; Mushito y Comiteco por los Zapotecos de la Sierra Sur; Comiteco, Olotillo y Tuxpeño por los Chatinos, y Cónico por los Triques. En el caso de teocintle, según Wilkes (1995), éste se distribuye de manera semiaislada; sin embargo, es probable que de las áreas arqueológicas, que fueron o son habitadas por los grupos étnicos, el teocintle se dispersó a otros lugares.

En la Figura 5 se indican únicamente las culturas en donde se distribuyen de manera natural el teocintle y el maíz en México, se marca con círculos rojos dónde se recolectó teocintle y con círculos amarillos dónde se recolectó el maíz, por la CONABIO en el 2009. Varios de estos círculos se encuentran en áreas que son o fueron habitadas por algún grupo étnico. En el estado de Michoacán se observa que predomina la etnia P'urhépecha, la cual habita o habitó todo el Estado de Michoacán, el sur de Guanajuato, parte sur y sureste de Jalisco y Colima en los años 1100 a 1530 d.C. También se observa que, el Occidente de México (Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit) estuvo habitado por las culturas Teotihuacanas y Toltecas del Valle de México en los años 1-650 d.C. y 900-1200 d.C., respectivamente. El Occidente de México primero estuvo habitado por la etnia Teotihuacana (1-650 d.C.); posteriormente por los Toltecas (900-1200 d.C.) y finalmente por los P'urhépechas (1100-1530 d.C.). En la Figura 6 se indica qué otros grupos étnicos habitaron el estado de Michoacán.

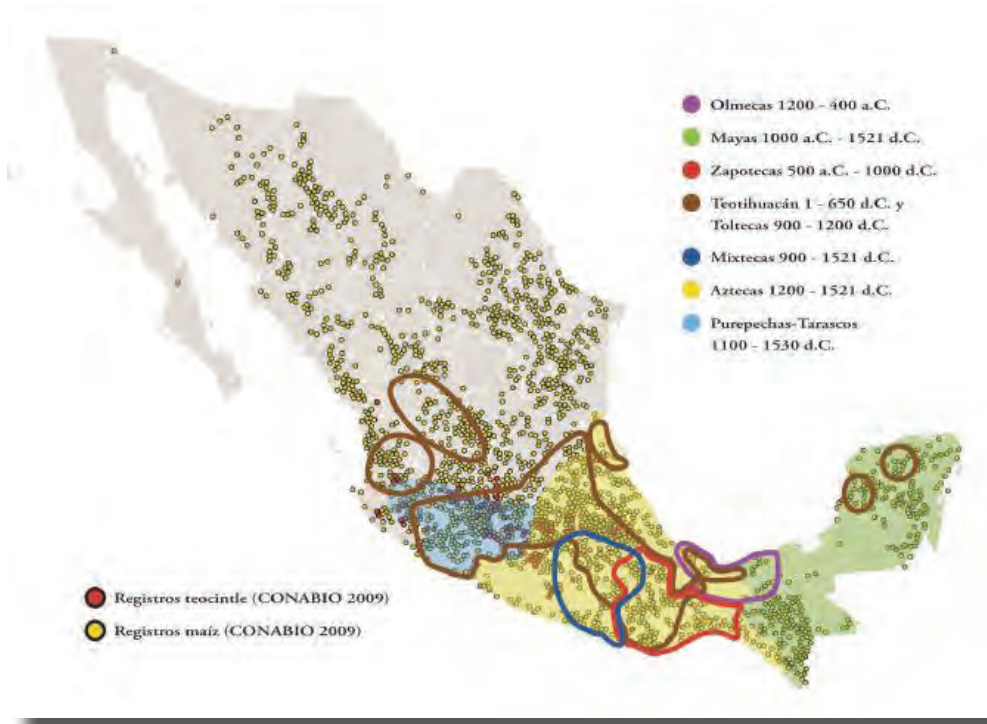


Figura 5. Grupos étnicos de México y su relación con la distribución del teocintle y maíz (Tomado de CONABIO, 1990, adaptado por Serratos).

GRUPOS ÉTNICOS EN EL ESTADO DE MICHOACÁN

Además de los grupos de la Figura 5, el estado de Michoacán estuvo habitado por los grupos étnicos Chichimecas, Matlatzincas, Teotihuacanos y Tequechua. Actualmente solo lo habitan los P'urhépechas, Nahuas, Otomíes y Mazahuas. De todos ellos, el grupo étnico predominante es el P'urhépecha (Figura 6).

P'urhépechas

La historia indica que los primeros P'urhépechas se establecieron en un pequeño islote en el Lago de Zacapu y de ahí se trasladaron a Tzintzúnzán, la capital de dicho imperio. El origen de los Tarascos o P'urhépechas no ha sido aclarado; la lengua no tiene relación con ninguna otra de Mesoamérica,



ya que constituye una lengua aislada a la cual no se le ha encontrado ningún parentesco cercano con los demás grupos lingüísticos existentes en México; sin embargo, por el parecido lingüístico que tiene con el Zuñi del suroeste (Nuevo México); de los Estados Unidos de América o Quechua Aimara de Perú-Bolivia, por lo que se cree que de este lugar emigraron los P'urhépechas (Swadesh, 1957). La palabra P'urhépecha quiere decir "gente", es el nombre que ellos mismos usaban en tiempos prehispánicos. Los Mexicas los llamaron michuaque, que quiere decir "la gente que tiene pescado" (Dahlgren, 1967) y los españoles Tarascos, que significa "suegro".

Los P'urhépechas comerciaban con grupos étnicos del noroeste de México, de donde traían turquesa y peyote, conchas marinas de la costa del Pacífico, cacao del delta del río Balsas, del Occidente de Jalisco traían el jade y ámbar, de Oaxaca y de más al sur: las piritas. De Sahagún (1589) indica que, en el mercado de Tlatelolco (Aztecas) se comercializaba el maíz y chile de los P'urhépechas, los cuales procedían principalmente de la cuenca

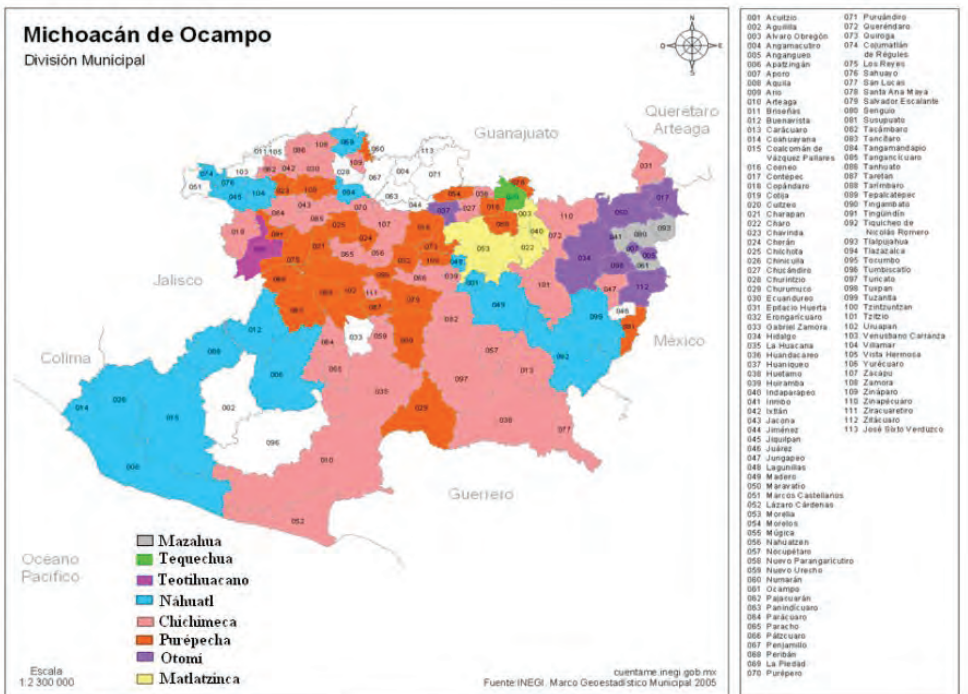


Figura 6. Grupos étnicos de Michoacán (Sitt, 2010)



de Cuitzeo. Otros productos de fabricación del imperio Tarasco fueron exportados a Mesoamérica, lugares como Morelos, Oaxaca, Soconusco, Veracruz y Belice (Hosler y MacFerlane, 1994). Éste grupo se distribuye principalmente en la Meseta Purépecha, pero también conquistaron el sur de Jalisco y de Guanajuato, además de otras partes de México.

Chichimecas

Los Chichimecas eran una cultura diferente a las mesoamericanas, estaban integrados por los Caxcanes, Guachichiles, Guayares, Pames, Tecuexes y Zacatecos. Los Caxcanes (que significa “no hay”) eran los más numerosos, habitaban El Teúl, Tlaltenango, Juchipila, Teocaltiche (Nochistlán) y Aguascalientes. Se cree que descienden de las 7 tribus que salieron de Aztlán, Nayarit hacia el Valle de México (la tierra prometida por Huitzilopochtli), en donde cerca de Tenayuca fundaron su primera capital y después se establecieron en la gran Tenochtitlan, este grupo llegó a alcanzar sedentarismo debido al contacto con los Otomíes y Tarascos. Los Guachichiles (que significa “cabezas pintadas de rojo”) eran los más bélicos, habitaban desde Saltillo hasta San Felipe Torres Mochas, en el Estado de Guanajuato. Los Pames (que significa “no”) habitaron el estado de Querétaro y Valle de México, era un grupo de los menos bélicos debido a que estaban influenciados por los Otomíes en cuestiones sociales y religiosas. Los Tecuexes se distribuían en Guadalajara, se cree que provenían de la dispersión de grupos de Zacatecas, este grupo alcanzó el sedentarismo y se estableció en los márgenes de los ríos en donde cultivaban frijol, calabaza, maíz, etc. Los Zacatecos se extendían desde Zacatecas hasta Durango, era una tribu de los Chichimecas que migraron de Aztlán al Valle de México, se cree que el lenguaje de los Zacatecos pertenece al UTO-Azteca. Los Tecuexes, Caxcanes y Guayares tenían influencia Otomí-Tarasco. Los Chichimecas también habitaron la cuenca del Valle de México, procedentes del norte de Jalisco y sur de Zacatecas. Los Chichimecas (que significa “perro sin cola”) se distribuían en el norte de México, desde Querétaro hasta Saltillo y de Guadalajara hasta San Luís Potosí; en Aridoamérica, donde las condiciones ambientales son desfavorables. Vivían en comunidades sin delimitación fija o “nomadismo” (<http://www.geocities.com/revista/conciencia/>).

En Michoacán también habitaron los municipios de Lázaro Cárdenas, Arteaga, la Huacana, Mújica, Parácuaro, Nuevo Parangaricutiro, Turicato,



Huetamo, San Lucas, Carácuaro, Nocupétaro, Tacámbaro, Peribán, Huiramba, Ziracuaretiro, Nahuatzen, Tangancicuaro, Zacapu, Purépero, Jacona, Tangamandapio, Cotija, Ecuandureo, Ixtlán, Pajacuarán, Tanhuato, Zamora, Zináparo, Chucándiro, Huandacareo, Tzitzio, Zinapécuaro, Jungapeo y Epitacio Huerta.

Matlatzincas

Matlatzinca es un vocablo Náhuatl que significa “los señores de la red” o “los hombres que hacen redes”. Deriva de la palabra matlatl (red), tun (reverencial) y catl (gentilicio). Los matlazintecos elaboraban redes, las cuales utilizaban para cargar maíz, hondas para la caza y probablemente en las guerras. Durante la etapa de dominio Mexica, se asentaron en la región de los P’urhépechas, estos los llamaban “Pirindas (“los de en medio”) y Charenses, nombre que se les dio por establecerse en el pueblo de Charo, Michoacán, de dominio P’urhépecha.

La lengua Matlatzinca forma parte de la familia lingüística Otopame; que se divide en dos grupos: las Pameanas, que incluye el Pame del norte, el Pame del sur (extinto), y el Chichimeca-Jonáz; y las Otomianas de las que forman parte el Otomí-Mazahua y el Matlatzinca-Ocuilteco. En la época prehispánica, los Matlatzincas ocupaban una extensa área territorial que se extendía en la parte central del Valle de Matlatzingo, ahí predominaba el Matlatzinca sobre el Otomí, Mazahua y Ocuilteco; aunque actualmente solo se habla en San Francisco Oxtotilpan, en el Estado de México (García, 2004). Dicha lengua también se hablaba en algunas regiones de Guerrero y Michoacán, en donde habitaron los municipios de Queréndaro, Indaparapeo, Charo y Morelia.

Nahuas

La lengua Náhuatl es miembro del tronco Yotonahua y es la lengua indígena que tiene mayor cantidad de habitantes en México. El vocablo Nahuatl proviene de la raíz Nawa, cuyo significado es “sonido claro” o “cosa que suena bien”. En la Costa-Sierra de Michoacán habitan cinco diferentes comunidades Nahuas, en el municipio de Aquila se encuentran los asentamientos indígenas de San Miguel Aquila, Santa María de Ostula,



Figura 7. Parte de la ruta de migración de los Nahuas hacia el Valle de México (Noguez, 2006)

Pómaro y Coire, mientras que en Chinicuila se localiza San Juan Huitzontla (Monzoy, 2006).

La región de la Costa-Sierra corresponde a una angosta e irregular franja de llanuras costeras, ubicada entre la Sierra de Coalcomán y el litoral del Océano Pacífico, la cual comprende desde la desembocadura del río Balsas (Boca de San Francisco) hasta el río Coahuayana (Boca de Apiza).

Los habitantes de la región se han apropiado de la antigua leyenda de los migrantes Nahuas, de las siete tribus que salieron del mítico Aztlán, Nayarit en el siglo XII, que concluyó con la fundación de Tenochtitlán en el



Valle de México. Para llegar de Aztlán al Valle de México esta peregrinación duró más de 200 años. Al parecer el grupo que ahora vive en la Costa-Sierra Michoacana fue uno de los grupos que se asentaron en el camino hacia al Altiplano Central (Valle de México), se dice que el rey Coalcomán les cedió los terrenos que actualmente habitan (Sánchez, 2001). A este grupo se le encuentra en la montaña y alto Balsas en el Estado de Guerrero, Sierra Norte de Puebla, Milpa Alta en el D. F., Sierra Madre del Sur, Texcoco, Edo. de México, la Huasteca (Veracruz y San Luis Potosí) y Tlaxcala. En el estado de Michoacán también habitaron los municipios de Aquila y Chinicuilá, y habitaron Coahuayana, Coalcomán, Tepalcatepec, Buenavista, Apatzingán, Jiquilpan, Sahuayo, Villamar, Cojumatlán, La Piedad, Tlazazalca, Lagunillas, Acuitzio, Madero, Tiquicheo y Tuzantla (Figura 6).

Mazahua

Los Alcólhuas de Texcoco llegaron al territorio de los Chichimecas, que habitaban el Valle de México, con quienes se aliaron. Al emparentar con ellos, los Alcólhuas se denominaron Chichimecas-Otomianos, los cuales se dividieron en: Mazahuas, Otomíes y Tepanecas. La palabra Mazahua en Náhuatl significa “lugar que tiene venados”. Desde el punto de vista lingüístico, los Mazahuas y Otomíes pertenecen a la familia lingüística Otomí-Pame; sin embargo, forman dos grupos diferentes que comparten similitudes. Los Mazahuas y Otomíes son grupos étnicos similares que comparten la misma ubicación geográfica, rasgos culturales, religiosos y gastronómicos. Por otra parte, otros investigadores indican que los Mazahuas pertenecen al grupo Otomangue de la familia Otomí-Mazahua. Los Mazahuas se distribuyen en el noroeste del Estado de México; así como, en algunos municipios del estado de Michoacán de Ocampo como son: Tlalpujahuá, Senguio, Irímbo y Ocampo.

Otomíes

La lengua Otomí desciende directamente de un idioma Proto-Otomí también hablado en el centro de México. Esta lengua se divide en cuatro: 1) el Otomí Occidental, hablado desde el Valle de Toluca hasta la Sierra Gorda en el estado de Querétaro, pasando por el Valle del Mezquital; 2)



el Otomí Oriental hablado en la Sierra Madre Oriental; 3) el Otomí Tlapa, hablado en el pueblo del sureste del Valle de Toluca, y 4) el Otomí de Ixtenco, hablado en la falda oriental del volcán La Malinche. Las variantes del Otomí presentan similitudes con otros idiomas de Mesoamérica y el norte de México. Los idiomas más cercanos al Otomí son: el Mazahua, el Matlatzinca y el Ocuilteco, estrechamente relacionados entre sí. También se relaciona con el Pame del sur, el Pame del norte y el Chichimeca-Jonáz. Todas estas lenguas integran la familia lingüística Otopame. Descienden de un idioma ancestral llamado Proto-Otopame, cuyo proceso de diferenciación comenzó durante el periodo Protoneolítico (hacia 5000 y 250 años a. C.), cuando el idioma Proto-Pame-Jonáz se separó del Proto-Otomí-Mazahua-Matlatzinca-Ocuilteco. Hacia finales del mismo periodo o durante el Preclásico inferior (2500-1200 años a. C.), el Proto-Otomí-Mazahua se separó del Proto-Matlatzinca-Ocuilteco (Barrientos, 2004). Este grupo étnico también se distribuyó hacia el oriente en los estados de Tlaxcala y Puebla, en el poniente en la región oriente en el estado de Michoacán, en tiempos precolombinos, y hacia el norte en los estados del Guanajuato y Querétaro después de la conquista. En Michoacán también habitaron los municipios de Zitácuaro, Tuxpan, Hidalgo, Aporo, Anganguero, Contepec y Maravatio.

CAMINOS PREHISPÁNICOS, COLONIALES Y RUTAS DE MIGRACIÓN HUMANA

El estudio de antiguas vías de comunicación es fundamental para comprender el desarrollo social de múltiples aspectos relacionados con la interacción cultural. Con gran inversión de tiempo y esfuerzo, los indígenas abrieron caminos entre diferentes núcleos poblacionales, mercados y centros ceremoniales. En la Figura 8 se muestran diferentes rutas comerciales, mismas por donde se trasladaban personas que llevaban consigo mercancías que intercambiaban por medio del trueque con otras etnias (Fournier, 2006).

Dentro de las rutas que se observan en la Figura 8 se encuentran: 1) La ruta del Pacífico descrita por Sauer (1932), esta ruta iba desde el sur de México (Oaxaca y Chiapas) y Guatemala, pasando por las zonas arqueológicas en el estado de Guerrero, el Occidente de México (Tzintzuntzan en Michoacán,



las Cuevas y Zacoalco en Jalisco, e Ixtlán del Río en Nayarit) hasta Sinaloa y Sonora; 2) la macroregión Mesa Central, la cual seguía dos rutas: una que iba hacia el Valle de México (Tula, Teotihuacán y Tenochtitlán), y continuaba hacia el Golfo de México y la Península de Yucatán, y la segunda que iba hacia Guerrero, Oaxaca y Chiapas; 3) la ruta oriente de la Sierra Madre Occidental, la cual partía del Valle de México (Tula, Teotihuacán y Tenochtitlán) hasta Casas Grandes en el estado de Chihuahua, pasando por Santa Rosa en los estados de Zacatecas y Durango; 4) la ruta del Golfo de México, que iba desde la península de Yucatán (Chichén-Itzá), pasando por el Valle de México, lugar donde se dividía en dos: una continuaba hacia Casas Grandes (Chihuahua) y la otra hacia Tamaulipas y sur de los Estados Unidos de América, y finalmente 5) la ruta del Golfo de México hacia el Pacífico, partía del Golfo de México hacia Guerrero y Oaxaca, pasando por el Valle de México.



Figura 8. Rutas prehispánicas y coloniales de comercio (Fournier, 2006).



Figura 9. Centros de origen y domesticación multicéntrica del maíz en México y Guatemala. Tomado de Kato *et al.*, (2009)

ORIGEN Y DOMESTICACIÓN DEL MAÍZ

Sobre el origen y domesticación del maíz existen varias hipótesis, que se indican a continuación: **La teoría Tripartita** postulada por Mangelsdorf y Reeves (1939), la cual sugiere que el maíz cultivado fue domesticado de un maíz silvestre palomero-tunicado sin nudos cromosómicos; el cual se cruzó con *Tripsacum* que tiene muchos nudos cromosómicos terminales, dando origen a un nuevo tipo de planta; el teocintle, y que la hibridación directa de maíz con *Tripsacum* vía teocintle a maíz, dio origen a la mayoría de los tipos modernos de maíz. **El teocintle: ancestro del maíz.** Esta teoría fue postulada por Beadle (1939), quien menciona que el teocintle anual mexicano fue el ancestro del maíz cultivado, el cual se originó mediante el proceso de domesticación por el hombre. Actualmente, esta teoría es la



más aceptada. **Teoría *Tripsacum-diploperennis***. Esta teoría fue postulada por la Dra. Eubanks (1995), quien sostiene que el maíz ha sido el resultado de la hibridación del *Tripsacum* con *Zea diploperennis*. **Teoría de la Transmutación Sexual Catastrófica**. Partiendo como base que el teocintle es el ancestro del maíz; Iltis (1983) desarrolló esta teoría, la cual propone que el maíz evolucionó mediante una transmutación sexual epigenética, que consistió en la condensación de la ramas laterales de las plantas de teocintle, formándose ahí la mazorca. **Teoría Multicéntrica del origen del maíz**. Con base en los resultados obtenidos de la morfología de los cromosomas paquiténicos (nudos cromosómicos), de los maíces y teocintles en América, los doctores McClintock (1978) y Kato (1984) propusieron que el maíz se originó y domesticó en varias regiones de México y Guatemala (Mesoamérica): Mesa Central de México; altura media de los estados de Morelos, Edo. de México y Guerrero; región centro-norte de Oaxaca, y finalmente Oaxaca y Chiapas, y región alta de Guatemala (Figura 9). **Teoría unicéntrica del origen del maíz**. De acuerdo con Matsuoka *et al.*, (2002), indican que el maíz se originó en la parte central de la cuenca del río Balsas, en Michoacán, Guerrero y Edo. de México, y tuvo un origen monofilético a partir del teocintle raza Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*).



CAPÍTULO II

CLASIFICACIÓN RACIAL

CONCEPTO DE RAZA

Desde el punto de vista botánico, raza se refiere a la jerarquía taxonómica comprendida entre la subespecie y la variedad (Font-Quer, 1979), para separar una de otra surge el problema en definir qué tanta diferenciación genética debe existir entre ambas poblaciones (Stansfield, 1977). Para Benson (1962), una raza es una subdivisión natural dentro de una especie, la cual se distingue genética, geográfica y ecológicamente.

Respecto al maíz, Anderson y Cutler (1942) mencionan que una raza es un grupo de individuos emparentados con suficientes características en común, que permiten su reconocimiento como grupo, esta definición fue la base para la clasificación de las razas de maíz de México (Wellhausen *et al.*, 1951). El problema de la definición de Anderson y Cutler radica en que esta definición tiene más afinidad al concepto de variedad que al de raza ésta.

Castillo y Ortega (comunicación personal, 22 de oct. 2009), han definido un nuevo concepto de raza, el cual consiste en: un grupo de variedades (en



vez de individuos) con suficientes características en común, que permiten su reconocimiento como grupo o raza. Con esta definición, todas las variedades que compartan características en común pueden pertenecer a una misma raza o sub-raza.

CLASIFICACIÓN RACIAL DEL TEOCINTLE

Las clasificaciones raciales pueden ayudar a definir las relaciones evolutivas de las poblaciones vegetales (Font-Quer, 1979), y para agruparlas se buscan grados de similitud (Dobzhansky, 1982) o disimilitud entre ellas. El primero en clasificar el teocintle de México en razas fue Wilkes (1967), quien reportó cuatro: Nabogame, la cual se distribuye en el sur del Estado de Chihuahua, Mesa Central al norte del estado de Michoacán y sur de Guanajuato, Chalco a los alrededores de Chalco y Texcoco en el Estado de México, Balsas en la región tropical en los estados de Oaxaca, Guerrero, Estado de México, Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit, posteriormente Doebley (1983) reporta la raza Durango. Además de los teocintles anuales en Jalisco, Guzmán (1982) reporta la existencia de dos teocintles perennes, uno diploide ($2n=20$) y otro tetraploide ($2n=40$). Con base en características de la espiga Doebley e Iltis (1980) e Iltis y Doebley (1980) propusieron una nueva división del género *Zea* propuesta por Wilkes (1967). Los teocintles anuales pertenecientes a las razas Nabogame, Durango, Mesa Central y Chalco los ubicaron dentro de la spp *mexicana*, Balsas en la spp *parviglumis*, mientras que al perenne diploide como *Zea diploperennis* y al tetraploide como *Zea perennis*. De acuerdo con Buckler *et al.*, (2006) la spp *mexicana* evolucionó a partir de la spp *parviglumis*; y al parecer, las poblaciones del norte de Michoacán y sur de Guanajuato tienen parentesco con las del área montañosa de Ixcateopan (Mazatlán-El Salado), ubicadas en la parte central del estado de Guerrero (Smith *et al.*, 1984), estas conocidas como Balsas Central.



CARACTERES APROPIADOS PARA LA CLASIFICACIÓN RACIAL DE MAÍZ

A continuación se describen los caracteres más apropiados para la caracterización de maíz, mismos que pueden ayudar en la caracterización del teocintle, sobre todo los de la espiga tal y como lo indican Doebley e Iltis(1980) e Iltis y Doebley (1980), ya que estos no han sido modificados por el hombre. Además de los propuestos para el maíz, deben buscarse aquellos caracteres más propios para caracterizar el teocintle, sobre todo aquellos relacionados con las características de la mazorca, ubicadas en las ramificaciones, debido a que existen variaciones en el número, forma y tamaño de granos por mazorca, por nudo, etc., tal como lo muestra el Dr. Sánchez-González en la página www.biodiversidad.gob.mx/genes/origenDiv.html (Figura 10A).



Figura 10A. Características de la inflorescencia femenina de especies de teocintles perennes (izquierda) y anuales (derecha). Tomado del Dr. Sánchez-González (www.biodiversidad.gob.mx/genes/origenDiv.html)



Figura 10B. Diferencias morfológicas de mazorca y grano entre maíz y teocintle

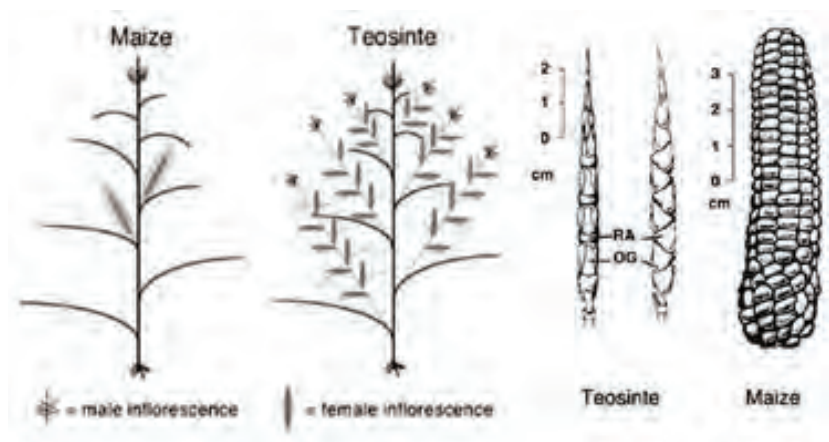


Figura 10C. Diferencias morfológicas de planta, espiga y mazorca. Tomado de Doebley (2004)



Debido a las diferencias entre maíz y teocintle, tal como indica Miranda (1977), deben definirse los caracteres apropiados para teocintle, él propone que las diferencias principales entre maíz y teocintle se encuentran en las inflorescencias, especialmente en la femenina (Figura 10B). La inflorescencia masculina del teocintle difiere de la del maíz, en que el eje central no tiene un arreglo polístico (Figura 10C). La inflorescencia femenina del teocintle consta de dos hileras de pares de espiguillas que nacen de una cavidad formada en un segmento de raquis llamada copilla, cavidad que está cerrada por la gluma inferior endurecida, esta capa dura es la que cubre completamente la cariopsis. En cambio, el maíz cultivado producto de la selección artificial, posee mazorcas con cuatro o más hileras, y semillas, que carecen de la cubierta dura que está presente en teocintle.

Anderson y Cutler (1942) fueron los primeros en sugerir el número de ramas de la espiga, tamaño de glumas de la espiga masculina, número de brácteas de la mazorca, número de hileras y tamaño de grano, como caracteres estables a ser considerados como criterios de clasificación. Por otra parte, Goodman y Paterniani (1969) introdujeron el término $r = [\sigma_c^2 / (\sigma_e^2 + \sigma_i^2)]$, donde σ_c^2 y σ_e^2 son los estimadores de componentes de varianzas, debido a diferencias entre colectas y ambiente; respectivamente, la varianzas de σ_i^2 es el cuadrado medio debido a la interacción genotipo por ambiente. Una baja relación implica que las diferencias entre razas crecidas en diferentes ambientes, podría ser debido más a efectos ambientales e interacciones que a diferencias raciales. Basados en estas relaciones, concluyeron que los caracteres reproductivos de la mazorca fueron menos afectados por factores ambientales e interacciones, caracteres vegetativos fueron fuertemente afectados y caracteres de la espiga fueron intermedios. Sánchez (1983) usando la misma relación de varianzas como criterio de selección de caracteres, concluyó que la longitud de la parte ramificada de la espiga, el número de ramas de espiga, la altura de planta y mazorca, podrían ser caracteres apropiados para la clasificación racial. Por otra parte, Ortiz (1985) usando este mismo criterio, recomienda como caracteres apropiados: altura de planta, altura de mazorca, número de hojas, longitud de la hoja, ancho de la hoja, número de ramas de la espiga, longitud entre ramas de la espiga, longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca, número de hileras de la mazorca, longitud y ancho del grano, diámetro del olote y diámetro de cúpula.



Más recientemente, Sánchez (1989) encontró que: altura de mazorca, número de hojas por planta, longitud de la parte ramificada de la espiga, longitud de la parte ramificada de la espiga/longitud de la espiga, longitud de la gluma, longitud de la mazorca, ancho del grano, ancho del grano/longitud de grano y longitud de segmento de raquis, podían ser sugeridos como caracteres apropiados para la clasificación de maíz.

MÉTODOS PARA ESTIMAR LA DIVERSIDAD

Para estimar la diversidad o similitud genética entre individuos o grupos de individuos, se pueden usar caracteres morfológicos, citogenéticos, bioquímicos y de ADN. Cuando se usan características fenotípicas, éstas frecuentemente están influenciadas por el ambiente y genética del desarrollo (Yee *et al.*, 1999), y afectan la expresión de los caracteres. Para que la evaluación del carácter morfológico sea lo más cercano al genético, es necesario que las condiciones ambientales, a las que son sometidos los individuos en evaluación sean exactamente las mismas a la de su área de adaptación (Molina, 1992).

Taxonomía numérica

El término de taxonomía numérica se puede definir como la aplicación de la estadística u otros métodos numéricos en la investigación de botánica sistemática, la cual tiene como objetivo principal la agrupación de organismos en taxones, mediante el uso de métodos numéricos (Sneath y Sokal, 1973). El uso de métodos numéricos en taxonomía ha sido ampliamente usado para clasificar maíz (Goodman y McKBird, 1977; Cervantes *et al.*, 1978; Sánchez y Goodman, 1992), este método consiste en el agrupamiento de unidades taxonómicas (UTOS) sobre la base de sus caracteres. Una vez que los caracteres han sido seleccionados, la clasificación por medio de taxonomía numérica involucra dos pasos: el análisis de similitud (o disimilitud) entre unidades taxonómicas, y posteriormente el análisis de conglomerados.

El análisis de similitud está basado en la estimación de una matriz, consistiendo en valores de similitud entre miembros de cada par posible



de las unidades taxonómicas. Dentro de las medidas de similitud se encuentran: la distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2), la distancia Euclidiana, el coeficiente de Gower y el complemento del coeficiente de correlación de Pearson (r_c).

Distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2)

Esta distancia asume que los caracteres tienen una distribución multinormal y que la población comparte una matriz de covarianza común. El coeficiente de disimilitud para la población i y j es definido como:

$$D_{ij}^2 = [(X_i - X_j)' S^{-1} (X_i - X_j)]^{1/2}$$

Donde X_i es el vector de las medias del carácter de la población i , y S es la matriz de covarianza dentro de la población.

Distancia Euclidiana

La distancia euclidiana es el estadístico comúnmente más usado para estimar la distancia genética (DG) entre individuos. La distancia euclidiana entre dos genotipos o poblaciones i y j , teniendo observaciones sobre caracteres morfológicos (p) denotados por X_1, X_2, \dots, X_p y Y_1, Y_2, \dots, Y_p para i y j , respectivamente. Puede ser calculado por la siguiente fórmula.

$$DG_{ij} = [(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + \dots + (X_p - Y_p)^2]^{1/2}$$

Coeficiente de correlación (r) o su complemento (r_c)

El coeficiente de correlación es una medida de asociación entre dos vectores X_i y X_j , que representan los valores de los caracteres para los taxa i y j ; en cambio, el complemento del coeficiente de correlación (r_c) mide la no asociación entre los dos taxa. El coeficiente de correlación (r) y su complemento (r_c) son calculados como:



$$r_{ij} = \frac{\sum (X_{ik} X_{jk})}{(\sum X_{ik}^2 \sum X_{jk}^2)^{1/2}} \quad \text{ó} \quad r_{c_{ij}} = 1 - \frac{\sum (X_{ik} X_{jk})}{(\sum X_{ik}^2 \sum X_{jk}^2)^{1/2}}$$

Donde X_{ik} representa la desviación de X_{ik} de la media general, X_k para la característica k

MÉTODOS MULTIVARIADOS DE AGRUPAMIENTO

Los métodos de clasificación son usados para estudiar la diversidad fenotípica y genotípica, los cuales forman grupos homogéneos (Cossa *et al.*, 1995; Franco *et al.*, 1999).

Análisis discriminante canónico

El análisis discriminante canónico (ADC) es un método estadístico multivariado, que tiene su origen en los trabajos de Fisher y posteriormente por Welch (1939) y Wald (1944). Este método permite la identificación de diferencias entre dos o más grupos de individuos, a partir de sus características propias (Afifi y Clark, 1996). Estas características se transforman en funciones lineales, con ellas se realiza la separación de los grupos al maximizar y minimizar la varianza entre y dentro de ellos, respectivamente (Cruz-Castillo *et al.*, 1994). Usando caracteres morfológicos y agronómicos con este método, Camussi *et al.*, (1983) y Reid *et al.*, (1990) clasificaron el germoplasma de maíz.

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) comprende un procedimiento matemático, que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas, llamadas



componentes principales (Wiley, 1981; Johnson, 2000). El primer paso en el análisis de componentes principales es calcular los eigenvalues, los cuales definen la cantidad total de variación, que está desplegada sobre los ejes del componente principal. El primer componente explica la mayoría de la variabilidad presente en los datos originales relativos a todos los componentes remanentes, y el segundo componente explica otra parte del complemento del total de la variabilidad, no considerada por el primer componente principal (CP); en ambos casos, dichos componentes no están correlacionados y así en adelante (Jolliffe, 1986). El análisis de componentes principales puede ser mejorado por dos tipos de matrices de datos: una matriz de varianza y covarianza, y otra por la matriz de correlaciones. Con caracteres de diferentes escalas es preferida una matriz de correlación estandarizada de los datos originales, si los caracteres son de la misma escala, puede usarse una matriz de varianza y covarianza.

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados (AC), es un método multivariado comúnmente usado para estudiar la diversidad genética de colectas en los bancos de germoplasma (Perry y McCintosh, 1991; Crossa *et al.*, 1994), y para formar subgrupos base (Brown, 1989), agrupando las colectas con base en características similares en categorías homogéneas (Tabata *et al.*, 1994; Crossa *et al.*, 1995), este método puede usar diferentes algoritmos jerárquicos para clasificar grupos de plantas, en los cuales los tamaños de estos grupos pueden variar. El método Ward (Ward, 1963) es la mejor estrategia cuando los tamaños de los grupos son similares, y UPGMA es apropiado cuando los grupos son de diferente tamaño (Sokal y Michener, 1958). Existen dos tipos de métodos para agrupar individuos: a) métodos basados en distancia genética, en los cuales se usa una matriz de la distancia entre pares de individuos, usando un algoritmo específico por agrupamiento, en el cual cada conglomerado puede ser identificado visualmente y b) métodos basados sobre modelos; en los cuales, las observaciones de cada grupo son asumidas a ser dibujos aleatorios del mismo modelo paramétrico, y la inferencia acerca de los parámetros corresponden a cada grupo, en donde dichos grupos son unidos usando métodos estadísticos estándar, como máxima verosimilitud o métodos Bayesianos.



Los métodos de agrupamiento basados en distancia genética pueden ser categorizados en dos grupos: jerárquicos y no jerárquicos. Los métodos de agrupamiento jerárquico son comúnmente más usados en el análisis de diversidad genética en plantas, en estos métodos, el agrupamiento empieza con un primer grupo, por lo que existirán tantos grupos como individuos se estén clasificando. Los individuos más similares son agrupados primero y estos grupos iniciales son unidos acorde a sus similitudes. Entre los métodos jerárquicos, el UPGMA (Unweighted Paired Group Method Using Arithmetic Averages) es más comúnmente adaptado a algoritmos de agrupamiento (Sneath and Sokal, 1973), seguido por el método Ward de varianza mínima (Ward, 1963). Existen cinco métodos de agrupamiento, como UPGMA, UPGMC (Unweighted Paired Group Method Using Centroids), ligamiento sencillo, ligamiento completo y mediano. UPGMA y UPGMC son los métodos que agrupan a los individuos más acorde con sus genealogías, mientras que los métodos de agrupamiento ligamiento sencillo y mediano tienen el problema “de efecto de encadenamiento”, el cual da poca resolución de grupos de individuos y complican la interpretación de resultados.

La medida de distancia usada en el análisis de conglomerados, depende sobre el tipo (s) de variables y sobre la escala de medición, en este sentido, un procedimiento común es eliminar las diferentes escalas, estandarizando cada variable por medio de la desviación estándar o su rango.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

RECOLECTA DE LAS MUESTRAS DE TEOCINTLE

Para la recolección de las muestras de teocintle se usaron los mapas y datos presentados en los artículos de Wilkes (1995), Sánchez y Ruíz (1995) y Sánchez *et al.*, (1989). La recolecta se realizó de noviembre del 2007 a febrero del 2008, con financiamiento de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). En el sitio de recolecta se registró la altitud (msnm), ubicación geográfica (latitud y longitud) con un geoposicionador (GPS) marca GARMIN etrex, tamaño de la población, nombre común, usos, hábitat, entre otros.

La muestra consistió en al menos 500 plantas por sitio de recolecta o dos kilogramos de semilla. La semilla se dividió en dos muestras: una se envió al Banco de Germoplasma del Instituto de Manejo de Recursos Fitogenéticos (IMAREFI) del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara y otra (muestra activa) permanece en el Programa de Maíz del Centro Regional Universitario Centro Occidente (CRUCO) de la Universidad Autónoma Chapingo, para realizar estudios de clasificación racial. En total se recolectaron 103 muestras, 46 de la raza Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*), 34 de Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*), 22 de Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*) en el Cuadro 1 y una de *Zea perennis* en Ziracuaretiro.

**Cuadro 1.** Razas de teocintle anual recolectadas en el estado de Michoacán

Número de colecta	Raza	Municipio	Localidad	Latitud grados	Latitud minutos	Latitud segundos	Longitud grados	Longitud minutos	Longitud segundos	Altitud msnm
BALSAS										
T-039	Balsas	TARETAN	Taretan	19	20	26	-101	54	23	1223
T-040	Balsas	TARETAN	Taretan	19	20	26	-101	54	23	1223
T-041	Balsas	TARETAN	Taretan	19	20	26	-101	54	23	1223
T-042	Balsas	TARETAN	Hoyo del Aire	19	17	24	-101	52	59	938
T-043	Balsas	TARETAN	Hoyo del Aire	19	17	24	-101	52	59	938
T-044	Balsas	TZITZIO	Las Ceibas	19	34	21	-100	55	24	1437
T-045	Balsas	TZITZIO	El Limoncito	19	32	30	-100	55	16	1107
T-046	Balsas	TZITZIO	Paso Ancho	19	29	21	-100	55	22	1130
T-047	Balsas	TZITZIO	Tzitzio	19	28	17	-100	55	06	990
T-048	Balsas	TIQUICHEO	Las Mojarras	19	13	29	-100	47	02	800
T-049	Balsas	TZITZIO	Tafetán	19	26	57	-100	54	13	959
T-050	Balsas	TACÁMBARO	Punta de la Loma	19	13	32	-101	20	27	1465
T-051	Balsas	TACÁMBARO	Punta de la Loma	19	13	32	-101	20	27	1465
T-052	Balsas	TACÁMBARO	La Parotita	19	11	54	-101	20	30	1364
T-053	Balsas	NOCUPÉTARO	La Argostura	19	04	09	-101	19	12	1047
T-054	Balsas	NOCUPÉTARO	Charco Verde	19	04	20	-101	17	34	833
T-055	Balsas	NOCUPÉTARO	El Palmito	19	04	05	-101	12	01	747
T-056	Balsas	NOCUPÉTARO	Petembo	19	04	18	-101	11	31	679
T-056 A	Balsas	TACÁMBARO	Chupio	19	09	31	-101	26	32	1200
T-057	Balsas	TURICATO	Turicato	19	05	20	-101	27	17	876
T-057 A	Balsas	CARÁCUARO	Puerto de la Cruz	18	58	18	-101	03	46	675
T-058	Balsas	TACÁMBARO	Chupio	19	09	31	-101	26	32	1200
T-059	Balsas	JUÁREZ	Puerto de Laureles	19	19	03	-100	26	58	1349



T - 060	Balsas	JUÁREZ	Cerro Colorado	19	19	10	-100	27	22	1314
T - 061	Balsas	JUÁREZ	Benito Juárez	19	19	03	-100	26	58	1349
T - 062	Balsas	JUÁREZ	Santa Ana	19	17	23	-100	26	01	1348
T - 063	Balsas	TUZANTLA	Las Parotas	19	13	46	-100	42	08	728
T - 064	Balsas	TIQUICHEO	El Limón de Papatzindan	19	02	48	-100	45	03	568
T - 065	Balsas	TARETAN	La Purísima	19	18	27	-101	54	03	1277
T - 066	Balsas	TARETAN	La Purísima	19	18	27	-101	54	03	1277
T - 069 A	Balsas	TACÁMBARO	Petemo	19	07	59	-101	29	21	1048
T - 070	Balsas	TZITZIO	Tafetán	19	26	57	-100	54	13	959
T - 071	Balsas	TZITZIO	Los Azares	19	20	16	-100	49	37	895
T - 072	Balsas	TIQUICHEO	El Limón de Papatzindan	19	02	48	-100	45	03	631
T - 073	Balsas	TIQUICHEO	El Limón de Papatzindan	19	02	48	-100	45	03	631
T - 074	Balsas	TIQUICHEO	El Rodeo	18	53	17	-100	47	32	543
T - 075	Balsas	TIQUICHEO	La Ceibita	18	53	04	-100	50	36	540
T - 076	Balsas	TIQUICHEO	La Ceibita	18	53	04	-100	50	36	540
T - 077	Balsas	HUETAMO	Peña Prieta	18	52	01	-100	52	21	540
T - 078	Balsas	HUETAMO	Peña Prieta	18	52	01	-100	52	21	540
T - 079	Balsas	HUETAMO	Eréndira	18	50	03	-100	56	11	647
T - 080	Balsas	HUETAMO	Quenchendio	18	48	32	-100	57	15	655
T - 082	Balsas	TACÁMBARO	Chupio	19	09	31	-101	26	32	1200
T - 083 A	Balsas	TACÁMBARO	Chupio	19	09	31	-101	26	32	1200
T - 084 A	Balsas	HUETAMO	Eréndira	18	50	03	-100	56	11	1219
T - 085 A	Balsas	TARETAN	Taretan	19	20	26	-101	54	23	1223
MESA CENTRAL										
T - 001	M. Central	TARÍMBARO	Santa Ana del Arco	19	49	23	-101	08	21	1884
T - 002	M. Central	TARÍMBARO	Santa Ana del Arco	19	49	23	-101	08	21	1884
T - 003	M. Central	ÁLVARO OBREGÓN	Colonia Zapata	19	53	20	-101	04	55	1842
T - 004	M. Central	CUITZEO	San Juan	19	54	35	-101	06	59	1846
T - 005	M. Central	CUITZEO	San Juan	19	54	35	-101	06	59	1846



T - 006	M. Central	COPÁNDARO	San Agustín del Maíz	19	54	16	-101	09	37	1855
T - 007	M. Central	CHUCÁNDIRO	San Sebastián	19	54	21	-101	18	00	1875
T - 008	M. Central	HUANDACAREO	La Labor	19	57	44	-101	19	04	1848
T - 009	M. Central	COPÁNDARO	San Agustín del Maíz	19	54	16	-101	09	37	1855
T - 010	M. Central	CUITZEO	La Puerta de Salto	20	03	15	-101	10	39	1845
T - 011	M. Central	MOROLEÓN	La Cinta	20	05	07	-101	09	38	1843
T - 012	M. Central	HUANDACAREO	La Estancia	19	59	39	-101	17	21	1850
T - 013	M. Central	MORELOS	Jurumbá	20	02	22	-101	28	10	2208
T - 014	M. Central	PANINDÍCUARO	Botello	19	57	59	-101	40	17	2091
T - 016	M. Central	MORELIA	Cuto de la Esperanza	19	45	19	-101	20	36	2150
T - 017	M. Central	HUANIQUERO	Tendeparacua	19	53	41	-101	25	33	2142
T - 018	M. Central	JIMÉNEZ	Chapitiro	19	55	59	-101	43	25	2012
T - 019	M. Central	CHUCÁNDIRO	Tanimireche	19	52	40	-101	23	59	2122
T - 023	M. Central	CHUCÁNDIRO	Tanimireche	19	52	40	-101	23	59	2122
T - 024	M. Central	CHUCÁNDIRO	Tanimireche	19	52	40	-101	23	59	2122
T - 025	M. Central	HUANIQUERO	Tendeparacua	19	53	41	-101	25	33	2142
T - 026	M. Central	CHUCÁNDIRO	San Sebastián	19	54	21	-101	18	00	1875
T - 027	M. Central	CHUCÁNDIRO	Churintzio	20	05	20	-101	59	21	2074
T - 033	M. Central	CUITZEO	Chupícuaru	20	01	35	-101	09	27	1845
T - 034	M. Central	CUITZEO	Rancho Seco	20	01	27	-101	10	12	1862
T - 035	M. Central	PURUÁNDIRO	La Quemada	20	05	44	-101	26	04	1863
T - 036	M. Central	COPÁNDARO	San Agustín del Maíz	19	54	16	-101	09	37	1855
T - 037	M. Central	LAGUNILLAS	San José Coapa	19	35	05	-101	25	30	1850
T - 038	M. Central	ERONGARÍCUARO	Lázaro Cárdenas	19	41	03	-101	45	02	2419
T - 067	M. Central	INDAPARAPEO	Colonia Miguel Hidalgo	19	47	24	-100	59	07	1872
T - 068	M. Central	INDAPARAPEO	Indaparaepo	19	48	11	-100	57	02	1895
T - 069	M. Central	ÁLVARO OBREGÓN	Las Trojes	19	53	43	-101	04	13	1823
T - 101	M. Central	PURUÁNDIRO	La Quemada	20	05	44	-101	26	04	1863
T - 103	M. Central	CUITZEO	Capacho	19	58	18	-101	12	09	1849



CHAPALA										
TS-009	Chapala	IXTLÁN	El Salitre	20	22	27	-102	22	27	1542
TS-008	Chapala	IXTLÁN	El Salitre	20	22	27	-102	22	27	1542
TS-022	Chapala	ECUANDUREO	Ecuandureo	20	08	42	-102	15	33	1548
TS-028	Chapala	CHURINTZIO	La Higuera	20	09	39	-102	05	13	1816
TS-029	Chapala	CHURINTZIO	Huapamacato	20	08	26	-102	05	15	1823
TS-030	Chapala	ECUANDUREO	Ecuandureo	20	08	42	-102	15	33	1548
TS-031	Chapala	CHURINTZIO	Huapamacato	20	08	26	-102	05	15	1823
TS-032	Chapala	PENJAMILLO	Penjamillo	20	06	43	-101	57	33	1800
TS-099	Chapala	ZINAPARO	Jalapa	20	08	48	-102	15	23	1719
TS-092	Chapala	PENJAMILLO	San Antonio Corupo	20	01	39	-101	55	05	1929
TS-095	Chapala	VISTA HERMOSA	Tanhuato	20	13	04	-102	21	32	1665
TS-097	Chapala	ECUANDUREO	Ecuandureo	20	08	42	-102	15	33	1548
TS-001	Chapala	IXTLÁN	Ojo de Agua	20	09	25	-102	21	58	1528
TS-084	Chapala	ZAMORA	Ario de Rayón	19	59	40	-102	21	16	1520
TS-004	Chapala	VILLAMAR	Los Zarquillos	20	02	58	-102	31	48	1595
TS-086	Chapala	VILLAMAR	Los Zarquillos	20	02	58	-102	31	48	1595
TS-087	Chapala	VILLAMAR	El Varal	20	03	45	-102	33	08	1665
TS-088	Chapala	VILLAMAR	El Varal	20	03	45	-102	33	08	1665
TS-089	Chapala	CHAVINDA	La Esperanza	20	01	43	-102	23	27	1570
TS-021	Chapala	IXTLÁN	El Salitre	20	22	27	-102	22	27	1542
TS-022	Chapala	IXTLÁN	El Salitre	20	22	27	-102	22	27	1542
TS-081	Chapala	TANGAMANDAPIO	Telonzo	19	58	19	-102	26	50	1635



IDENTIFICACIÓN RACIAL PRELIMINAR

Para la identificación racial preliminar se consultó al Dr. José de Jesús Sánchez González del IMAREFI-CUCBA de la Universidad de Guadalajara. Al término del proceso de recolecta de las razas Mesa Central de los alrededores del Lago de Cuitzeo y Balsas de las regiones tropicales de Michoacán, se observaron las características morfológicas distintivas de cada una de estas razas, el problema inició cuando se empezó a recolectar el teocintle en los alrededores de la región Ciénega de Chapala, estos teocintles compartían características de la raza Balsas y Mesa Central, en ese momento se les asignó el nombre de Balsas-Mesa Central. En mapas de distribución del teocintle en México, Sánchez et al., (1998) y otros investigadores ubicaban al teocintle de la Ciénega de Chapala como Mesa Central; sin embargo, en la base de datos que se envió a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) e IMAREFI, las colectas de ésta región no se agruparon con las de Mesa Central, debido a que se observó que no tenían las mismas características morfológicas y debían ser más estudiadas.

MATERIAL GENÉTICO EVALUADO PARA LA CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

El material genético usado para la caracterización morfológica de las razas de teocintle consistió de 10 colectas para la raza Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*), 11 para Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*) de los alrededores del Lago de Cuitzeo y 10 para Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*), el cual es "puro"; es decir, fue recolectado de monte donde no había maíz. De Mesa Central se incluyó una colecta de Guanajuato (T-035); de Balsas una de Ejutla, Jalisco, la cual fue donada por el Dr. Roberto Miranda Medrano del Centro Universitario Costa Sur (CUCSUR), de la Universidad de Guadalajara en Autlán, Jalisco (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Material genético usado para la caracterización morfológica de los teocintles Chapala, Mesa Central y Balsas

Raza	Colecta	spp	Localidad	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Codif.
Chapala	TS-004	<i>mexicana</i>	Los Zarquillos	Villamar	20-01-43	102-31-17	1599	A-a
Chapala	TS-030	<i>mexicana</i>	Ecuandureo	Ecuandureo	20-08-50	102-15-39	1610	A-b
Chapala	TS-009	<i>mexicana</i>	Ixtlán	Ixtlán	20-08-41	102-21-34	1544	A-c
Chapala	TS-081	<i>mexicana</i>	Telonzo	Tangamandapio	17-57-48	103-23-00	1726	A-d
Chapala	TS-002	<i>mexicana</i>	Villa Fuerte	Ario de Rayón, Zamora	19-59-41	192-21-16	1520	A-e
Chapala	TS-001	<i>mexicana</i>	Ojo de agua	Ixtlán	20-09-25	102-21-57	1528	A-f
Chapala	TS-008	<i>mexicana</i>	Ixtlán	Ixtlán	20-09-12	102-21-52	1529	A-g
Chapala	TS-022	<i>mexicana</i>	El Salitre	Ixtlán	20-22-27	102-22-27	1542	A-h
Chapala	TS-021	<i>mexicana</i>	El Salitre	Ixtlán	20-09-16	102-22-25	1542	A-i
Chapala	TS-032	<i>mexicana</i>	Penjamillo	Penjamillo	20-06-43	101-57-33	1800	A-j
M. Central	T-010	<i>mexicana</i>	Puerta del Salto	Cuitzeo	20-03-15	101-10-39	1845	B-k
M. Central	T-017	<i>mexicana</i>	Tendeparaqua	Huaniqueo	19-53-27	101-26-31	2142	B-l
M. Central	T-013	<i>mexicana</i>	Jururemba	Morelos	20-02-22	101-28-10	2208	B-m
M. Central	T-036	<i>mexicana</i>	San Agustín del Maíz	Copándaro	19-53-56	101-10-48	1849	B-n
M. Central	T-037	<i>mexicana</i>	San José Coapa	Lagunillas	19-35-15	101-25-30	1850	B-ñ
M. Central	T-035	<i>mexicana</i>	Cerano-Puruándiro	Yuriria, Gto	20-05-44	101-26-04	1863	B-o



M. Central	T-027	<i>mexicana</i>	Autopista	Chucándiro	20-05-20	101-59-20	2074	B-p
M. Central	T-023	<i>mexicana</i>	Autopista	Chucándiro	19-52-41	101-23-29	1995	B-q
M. Central	T-005	<i>mexicana</i>	San Juan	Cuitzeo	19-55-13	101-07-49	1861	B-r
M. Central	T-067	<i>mexicana</i>	Col. Miguel Hidalgo	Indaparapeo	19-47-24	100-59-07	1872	B-s
M. Central	T-007	<i>mexicana</i>	San Sebastián	Chucándiro	19-54-21	101-18-00	1875	B-t
Balsas	T-078	<i>parviglumis</i>	Peña Prieta	Huetamo	18-50-00	100-54-14	701	C-u
Balsas	T-076	<i>parviglumis</i>	La Ceibita	Tiquicheo	18-52-32	100-50-50	540	C-v
Balsas	T-055	<i>parviglumis</i>	El Palmito	Nocupétaro	19-04-05	101-12-01	747	C-w
Balsas	T-056 ^a	<i>parviglumis</i>	Chupio	Tacámbaro	19-09-31	101-26-32	1200	C-x
Balsas	Ejutla	<i>parviglumis</i>	Ejutla	Jalisco	19-57-00	103-59-00	1000	C-y
Balsas	T-051	<i>parviglumis</i>	Punta de la Loma	Tacámbaro	19-12-57	101-20-47	1441	C-z
Balsas	T-064	<i>parviglumis</i>	El limón de Papatzindán	Tiquicheo	19-02-48	100-45-03	568	C-1
Balsas	T-059	<i>parviglumis</i>	Puerto de Laureles	Juárez	19-19-15	100-26-44	1419	C-2
Balsas	T-075	<i>parviglumis</i>	La Ceibita	Tiquicheo	18-53-04	100-50-36	540	C-3
Balsas	T-045	<i>parviglumis</i>	El Limoncito	Tzitzio	19-31-09	100-55-16	1107	C-4



LOCALIDADES DE EVALUACIÓN

Con la finalidad de tener un estudio preliminar de la diversidad del teocintle en Michoacán, los días 16 de abril y 15 de junio del 2010; se trasplantaron 10, 11 y 10 colectas de los teocintles razas Chapala, Mesa Central y Balsas; en los Campos Agrícolas, Experimentales de “La Carreta” en Álvaro Obregón y en Morelia, Michoacán respectivamente. Las localidades se localizan a una altitud respectiva de 1850 y 1990 msnm; y un clima A(C) (García, 1973).

MANEJO AGRONÓMICO

Cada colecta de maíz se trasplantó en dos surcos de 5 m de longitud y 0.80 m de ancho, cada 0.25 m se trasplantaron dos plantas por mata para asegurar su establecimiento. Durante el proceso de cultivo no se fertilizó, aplicó insecticidas y solo se controlaron las malezas con herbicidas. Para asegurar su establecimiento en la localidad de Álvaro Obregón se aplicaron dos sobre riegos, uno cada semana y en la de Morelia se trasplantó durante el periodo de lluvias.

CARACTERES MORFOLÓGICOS EVALUADOS

Longitud de la espiga de la parte ramificada (LPR). Se midieron en centímetros con una regla de 100 cm 5 espigas por colecta. La medición inició desde la parte ramificada donde termina el pedúnculo hasta la base donde empieza la espiga central.

Longitud total de la espiga (LE). Se midieron en centímetros con una regla de 100 cm 5 espigas por colecta, desde la base del pedúnculo de la espiga hasta la parte terminal de la espiga central.

Número de entrenudos de la espiga (NEE). En 5 espigas por colecta, se cuantificó el número total de entrenudos de la parte ramificada de la espiga.



Longitud de la gluma (LG). Se midieron en milímetros con un vernier micrométrico 5 glumas por espiga y 5 espigas por colecta, desde su base hasta la parte terminal.

Longitud del pedicelo de la espiguilla (LPE). Se midieron en milímetros usando un vernier micrométrico 5 pedicelos por espiga y 5 espigas por colecta, desde la base de la espiguilla a la parte basal del pedicelo.

Longitud de la rama principal de la espiga (LRP). Se midieron en centímetros con una regla de 100 cm 5 espigas por colecta, desde la base del pedúnculo de la espiga hasta la parte terminal de la rama central.

Número de ramas laterales primarias de la espiga (NRLP). Se midieron 5 espigas por colecta y en la parte ramificada de la espiga principal se cuantificó el número de ramas laterales primarias.

Número de ramas laterales secundarias de la espiga (NRLS). Se midieron 5 espigas por colecta y en la parte ramificada de la espiga principal se cuantificó el número de ramas laterales secundarias.

Número de ramas laterales terciarias de la espiga (NRLT). Se midieron 5 espigas por colecta y en la parte ramificada de la espiga principal se cuantificó el número de ramas laterales terciarias.

Longitud de la vaina de la hoja (LVH). Se midieron 5 plantas por colecta y en la hoja de la primera rama lateral se midió en centímetros la longitud de la vaina, desde su punto de inserción en el tallo hasta donde inicia la longitud de la hoja

Longitud de la hoja bandera (LHB). Se midieron en centímetros con una regla de 30 centímetros 5 hojas por colecta, desde la base hasta la parte terminal de la hoja.

Ancho de la hoja bandera (AHB). Se midieron en centímetros con una regla de 30 centímetros 5 hojas por colecta, en la parte central de manera horizontal a la longitud de hoja.

Número total de hojas (NTH). Se cuantificó el número total de hojas por planta en 5 plantas por colecta.

Longitud de la hoja donde se inserta la primera rama lateral (LHPRL). Se midieron en centímetros con una regla de 100 cm 5 hojas por colecta.



En la hoja donde se inserta la primera rama lateral se midió su longitud, desde la base a la parte terminal de la misma en forma longitudinal.

Ancho de la hoja donde se inserta la primera rama lateral (AHPRL). Se midieron en centímetros con una regla de 100 cm 5 hojas por colecta. En la hoja donde se inserta la primera rama lateral se midió su anchura, en la parte central de la misma en forma horizontal a su longitud.

Altura de la primera rama lateral (APRL). Se midieron en centímetros con una cinta de 3 metros 5 plantas por colecta, desde la base del suelo hasta donde emergía la primera rama lateral.

Altura de la última rama lateral (AURL). Se midieron en centímetros con una cinta de 3 metros 5 plantas por colecta, desde la base del suelo hasta donde emergía la última rama lateral.

Número de ramas laterales de la planta (NRL). Se evaluaron 5 plantas por colecta. Se cuantificó el número total de ramas laterales que emergieron del tallo principal.

Número de hijos (NH). Se cuantificó el número total de plantas (hijos) que emergieron de los primeros nudos del tallo principal en 5 plantas por colecta.

Número total de nudos con mazorca en el tallo principal (NTNMZ). Se cuantificó el total de nudos con mazorca ubicados en el tallo principal en 5 plantas por colecta.

Número de nudos con mazorca en ramas laterales (NTNMZL). Se cuantificó el número total de nudos con mazorca y se dividió por el número total de ramas laterales en 5 plantas por colecta.

Longitud de la mazorca (LMZ). Se midieron en centímetros, con una regla de 30 centímetros 5 mazorcas por planta y 5 plantas por colecta, desde la base de la mazorca hasta la parte terminal en forma longitudinal.

Número de granos por mazorca (NGMZ). Se cuantificó el número total de granos por mazorca en 5 mazorcas por planta y 5 plantas por colecta. .

Peso de grano (PG). Se pesaron en gramos con una balanza granataria, 80 granos por colecta.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

Debido a que durante el proceso de recolecta se observó que el teocintle de Chapala, el cual está considerado como raza Mesa Central (*Zea mays ssp mexicana*) (Sánchez *et al.*, 1998), era diferente al de Cuitzeo y sus alrededores, éstos se analizaron por separado. En este estudio se hizo análisis de varianza univariados y multivariados por separado, para ver si ambos teocintles pertenecen a la misma raza o diferente subespecie. En los análisis de varianza univariados (ANOVA) también se realizaron pruebas de Tukey, para la comparación de medias, mientras que en los análisis de tipo multivariado (MANOVA), canónico discriminante (ACD), componentes principales (ACP) y de conglomerados (AC). Para ver las diferencias estadísticas de los ANOVA se usó la prueba estadística de F y en los MANOVA las pruebas multivaridas Lambda de Wilks, Traza de Pillai, Traza de Hotelling-Lowley y Raíz Máxima de Roy. En los análisis anteriores se usaron los procedimientos PROC ANOVA, MANOVA, PROC CANDISC, PROC PRINCOMP y PROC CLUSTER de SAS (SAS Institute-SAS/STAT Software: Syntax versión 6, 1993).

Con PROC CANDISC se obtuvo la distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2), la cual mide la disimilitud o similitud entre las colectas y razas de teocintle y las funciones discriminantes (FD) para agrupar las colectas y razas. Para los componentes principales (CP) se usó la matriz de correlación en vez de la de covarianzas, debido a que las colectas y razas presentaron un mejor agrupamiento.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE VARIANZA UNIVARIADO Y MULTIVARIADO

De las 24 características agronómicas usadas para caracterizar los teocintles Chapala, Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*) y Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*) de Michoacán, solo longitud de la gluma (LG), longitud de la rama principal (LRP), número de ramas laterales primarias (NRLP), número de ramas laterales terciarias (NRLT), longitud de la vaina de la hoja (LVH), ancho de la hoja bandera (AHB), ancho de la hoja de la primera rama lateral (AHPRL), altura de la primera rama lateral (APRL), número de ramas laterales (NRL), número total de nudos con mazorca en el tallo principal (NTNMZ), número total de nudos con mazorca en ramas laterales (NTNMZL), longitud de la mazorca (LMZ), número de granos por mazorca (NGMZ) y peso de grano (PG) fueron altamente significativos, de acuerdo a la prueba estadística de F ($p \leq 0.01$) (Cuadro 2A), mientras que longitud de la espiga (LE), número de entrenudos de la espiga (NEE), número de ramas laterales secundarias (NRLS), número total de hojas (NTH), longitud de la hoja de la primera rama lateral (LHPRL) y número de hijos (NH) también resultaron estadísticamente significativos



($p \leq 0.05$) (Cuadro 2B), a diferencia de longitud de la parte ramificada (LRP), longitud del pedicelo de la espiguilla (LPE), longitud de la hoja bandera (LHB) y altura de la última rama lateral (AURL) estadísticamente no significativas (Cuadro 2C) Por otra parte, las pruebas estadísticas multivaridas Lambda de Wilks, Traza de Pillai, Traza de Hotelling-Lowley y Raíz Máxima de Roy con valores respectivos de 0.009, 1.721, 27.34 y 24.14 fueron altamente significativas ($p \leq 0.01$) e indican que las tres razas de teocintle presentan características agronómicas diferentes. Solo las características LPE, LMZ, AHPRL, NRLS y NRL presentaron coeficientes de variación (CV) altos; sin embargo, solo LPE fue no significativa en la prueba de F.

Cuadro 2A. Cuadrados medios (CM) de las características agronómicas que resultaron altamente significativas ($p \leq 0.01$) de acuerdo a la prueba de F.

FV	GL	Cuadrados Medios (CM)						
		LG	LRP	NRLP	NRLT	LVH	AHB	AHPRL
Razas	2	3.79**	17.96**	29.35**	1.87**	6.40**	0.55**	0.03**
Error	3	0.08	0.37	0.60	0.02	0.15	0.02	0.16
CV		3.62	5.07	5.44	3.79	4.21	4.64	22.67

Cuadro 2A. Continuación.

Cuadrados Medios (CM)						
APRL	NRL	NTNMZ	NTNMZL	LMZ	NGMZ	PG
2920.04**	1.5**	3.21**	20.08**	1157.67**	0.44**	0.90**
13.90	0.21	0.08	2.81	112.24	0.07	0.01
5.0	19.47	4.88	22.35	29.89	4.83	1.60



Cuadro 2B. Cuadrados medios (CM) de las características agronómicas que resultaron significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo a la prueba de F

FV	GL	Cuadrados Medios (CM)					
		LE	NEE	NRLS	NTH	LHPRL	NH
Razas	2	123.59*	1.17*	47.47*	4.42*	15.28*	0.68*
Error	3	6.59	0.09	2.85	0.32	1.38	0.03
CV		5.93	3.53	22.66	4.16	2.49	0.93

Cuadro 2C. Cuadrados medios (CM) de las características agronómicas que resultaron estadísticamente no significativas

FV	GL	Cuadrados Medios (CM)			
		LPR	LPE	LHB	AURL
Razas	2	6.47	5.34	73.17	3504.78
Error	3	1.34	2.43	9.60	4.90
CV		9.21	31.38	11.67	1.41

COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS ENTRE RAZAS

En la prueba estadística de F resultaron no significativas solo las características LPR, LPE, LHB y AURL; de las cuales, las tres primeras fueron también no significativas con la prueba de Tukey; al igual que AHPRL, NRL, NTNMZL y NGMZ (Cuadro 3B), e indica que de las 24 características agronómicas estudiadas, en al menos estas, los tres teocintles son similares.



El teocintle Chapala es similar con el Mesa Central (*Zea mays ssp mexicana*) de Cuitzeo y sus alrededores en las características longitud de la gluma (LG), número de ramas laterales primarias, secundarias y terciarias (NRLP, NRLS, NRLT), número total de hojas (NTH) y número total de nudos con mazorca en ramas laterales (NTNMZ), cuyos valores respectivos apareados son: 8.00 vs 8.97, 10.80 vs 13.5, 14.01 vs 15.85, 0 vs 0, 12.67 vs 12.67 y 5.45 vs 5.01. Comparando ahora el teocintle Chapala de adaptación subtropical con Balsas (*Zea mays spp parviglumis*) de adaptación tropical, se encontró que es similar en longitud de la vaina de la hoja (LVH), ancho de la hoja bandera (AHB), altura de la última rama lateral (AURL), número de hijos (NH) y peso de grano (PG), cuyos valores respectivos apareados son: 8.94 vs 7.83, 3.15 vs 2.82, 136.41 vs 128.44, 3.48 vs 3.05 y 7.97 vs 8.51. En el caso de la raza Mesa Central de Cuitzeo, comparte con Balsas solo las características número de entrenudos de la espiga (NEE) y longitud de la hoja de la primera rama lateral (LHPRL) con valores respectivos apareados de 9.04 vs 8.96 y 47.70 vs 49.54. Existen características como longitud de la espiga (LE) y de la mazorca (LMZ), que son compartidas por los tres teciocintles; en el caso de la longitud de la espiga, el teocintle Chapala tiene un valor de 44.07cm, mientras que el Mesa Central tiene 51.20 cm, y el Balsas un valor de 35.50 cm. Las características de longitud de la rama principal de la espiga (LRP) y altura de la primera rama lateral (APRL) son diferentes para cada una de las razas mencionadas, mismas que pueden ser consideradas como apropiadas para diferenciar las razas de teocintle. En LRP, Chapala tiene un valor de 12.12 cm, Mesa Central de 14.94 cm y Balsas de 8.95 cm. En el caso de APRL, Chapala tiene un valor de 63.36 cm, Mesa Central de 117.13 cm y Balsas de 43.21cm.

El teocintle que comparte más características agronómicas con los demás es el Chapala, cinco con Balsas y seis con Mesa Central de Cuitzeo y sus alrededores, mientras que son menos similares el Mesa Central de Cuitzeo con Balsas, debido a que solo comparten dos características, esto indica que estas razas son las más divergentes morfológicamente y quizá también evolutivamente; también, debido a que dentro de la *spp mexicana*, a la cual pertenece Mesa Central, Wilkes (1967) indica que la raza Chalco (*spp mexicana*) es la que tiene mayor similitud morfológica al maíz domesticado (*Zea mays spp mays*). Recientemente, Fukunaga *et al.*, (2005) encontraron que el maíz contiene un 25% o más de germoplasma del teocintle Balsas, mientras que la *spp mexicana* (Chalco y Mesa Central) solo el 8%.



La menor similitud morfológica entre la raza Mesa Central y Balsas puede ser resultado de la selección natural, domesticación o un efecto conjunto, debido a que durante la domesticación el hombre realizó la selección de aquellos caracteres de interés, considerando el ambiente de producción y sus usos antropocéntricos (Harlan *et al.*, 1973; de Wet y Harlan, 1975). Buckler *et al.*, (1998), mencionan que los cambios evolutivos de diferenciación entre la spp *parviglumis* y *mexicana* ocurrieron durante los periodos del Pleistoceno y Holoceno; periodos donde hubo cambios climáticos drásticos en los trópicos y parte central de México (Colinvaux *et al.*, 1996), a pesar que durante el Pleistoceno el clima fue más cálido y húmedo (Brown, 1985; Buckler *et al.*, 1998). Si la selección natural acacionó la diferenciación genética, entonces porqué modificó LPR y APRL que son características distintivas entre las spp *parvilumis* y *mexicana*, ¿para qué se aumentaría la altura de la primera rama lateral (APRL) de 43.21 cm en Balsas a 117.13 cm en Mesa Central, que es lugar donde se ubicaría la primera mazorca?. Lo anterior indica que el hombre participó en la diferenciación morfológica racial del teocintle, en un largo proceso de domesticación (Smith *et al.*, 1981), mismo que modificó ciertas estructuras de interés, como la altura para poner la primera y última mazorca.

La pregunta que ahora surge es, ¿si la spp *mexicana* dio origen a un tipo de maíz?. De acuerdo a Galinat (1991), existen evidencias de que el maíz tuvo un doble origen filético, que la raza Balsas dio origen a los maíces cristalinos y Chalco a los dentados; sin embargo, Doebley (1990a) menciona que la ruta de evolución de la raza Chalco no jugó ningún papel en el origen del maíz (Figura 22) y lo mismo encontró Smtih *et al.* (1982); aunque, mencionan que los teocintles de la raza Mesa Central se traslaparon con maíz, sin definir con qué raza; entonces, ¿para qué el hombre seleccionó la spp *mexicana*?. De acuerdo con Beadle (1939), en su hipótesis sobre el origen del maíz; indica que el teocintle fue fuente de alimento de los grupos étnicos y lo cultivó para este propósito. Según Smalley y Blake (2003) el teocintle primero fue usado por su azúcar en el tallo, para masticarlo o hacer bebidas fermentadas usadas en el contexto ceremonial, o incluso durante sus viajes.

La alta similitud morfológica; pero baja genética entre el teocintle Chalco y el maíz cultivado indica que posiblemente el maíz y el teocintle spp *mexicana* evolucionaron de un punto en común (Buckler *et al.*, 2006); la spp *parviglumis*, pero a partir de dos rutas evolutivas diferentes, una para maíz (spp *mays*) y otra para la spp *mexicana* (Figura 22). La alta similitud



entre estas dos subespecies sugiere que, el hombre durante el proceso de domesticación practicó criterios de selección similares en solo algunos caracteres antropocéntricos, motivo por el cual ambas subespecies son morfológicamente similares (Lin, *et al.*, 1995), aunque genéticamente diferentes debido a que el resto de caracteres (la mayoría) no fueron seleccionados. Este Síndrome de la Domesticación Adaptativa (Harlan *et al.*, 1973; de Wet y Harlan, 1975) se presenta cuando en diferentes cultivos de la misma familia (Poaceae) se usan los mismos criterios de selección y presión de selección, por lo que se presentan cambios evolutivos similares.

Dentro de los pocos caracteres que el hombre seleccionó, Doebley *et al.*, (1997) y Doebley (2004) mencionan que el gen *tb-1* que controla las ramas laterales y la dominancia apical fue un objetivo de la selección humana para obtener una planta con un solo tallo sin ramas laterales. Otro gen que jugó un papel importante en la domesticación del teocintle a maíz es el gen *tga-1* (Dorweiler *et al.*, 1993; Wang *et al.*, 2005), el cual es el responsable del tamaño de la cubierta alrededor del grano de teocintle, mismo que se modificó cuando el hombre fue reduciendo dicha cubierta. Otro gen que participó en la domesticación del maíz es el *te-1* (Doebley *et al.*, 1995; White y Doebley, 1999), además de otros que afectan el tamaño del grano (Doebley *et al.*, 1994) y, el número de hileras de la mazorca y ramas laterales de la espiga (Sigmon y Vollbrecht, 2010).

Cuadro 3A. Comparación de medias con la prueba de Tukey en las características que fueron estadísticamente diferentes.

Razas	Características								
	LE	NEE	LG	LRP	NRLP	NRLS	NRLT	LVH	AHB
Chapala	44.07ab	7.68b	8.00a	12.12b	10.80b	14.01b	0.00b	8.94b	3.15b
M. Central	51.20a	9.04a	8.97a	14.94a	13.57b	15.85b	0.00b	11.33a	3.85a
Balsas	35.50b	8.96a	6.25b	8.95c	18.37a	23.22a	1.67a	7.83b	2.82b
DSH 0.05	10.81	1.26	1.17	2.54	3.24	7.06	0.52	1.65	0.63

**Cuadro 3A.** Continuación.

Razas	Características							
	NTH	LHPRL	APRL	AURL	NH	NTNMZ	LMZ	PG
Chapala	12.67b	44.10b	63.36b	136.41b	3.48a	5.45b	39.52a	7.97b
M. Central	12.67b	47.70a	117.13a	204.60a	2.32b	5.01b	57.19ab	9.30a
Balsas	15.23a	49.54a	43.21c	128.44b	3.05a	7.39a	9.60b	8.51b
DSH 0.05	2.34	4.90	15.58	9.24	0.74	1.21	44.27	0.56

Cuadro 3B. Comparación de medias con la prueba de Tukey en las características que fueron estadísticamente no diferentes.

Razas	Características						
	LPR	LPE	LHB	AHPRL	NRL	NTNMZL	NGMZ
Chapala	10.63	4.35	28.81	3.85	3.10	9.73	5.46
M. Central	14.19	6.82	31.12	3.91	2.67	8.89	6.36
Balsas	12.86	3.73	19.68	4.10	1.44	7.37	5.67
DSH 0.05	4.84	6.51	12.95	1.68	1.95	7.00	1.17

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LAS RAZAS DE TEOCINTLE EN MICHOACÁN

Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*). **Descripción morfológica.** Esta raza es 5 días más precoz que la Chapala y 25 que la Balsas. **Espiga.** La espiga tiene una longitud aproximada de 51.20 cm, de los cuales 14.19 cm forman la parte ramificada, 14.94 cm la parte de la rama principal y 32.07 cm el pedúnculo. En la parte ramificada se encuentran 14.94 ramas primarias, en las cuales se ubican 15.85 ramas secundarias, y de éstas no se prosperan ramas terciarias. Cada espiga presentó 9.04 entrenudos. De la rama principal se estimó la longitud del pedicelo y tamaño de gluma de



la espiguilla, los cuales tuvieron los valores respectivos de 6.82 mm y 8.96 mm. **Planta.** Ésta tiene aproximadamente 2.67 ramas laterales, las cuales presentan 8.89 nudos con mazorca, mientras que sobre el tallo principal solo se ubican 5.01 nudos con mazorca. En el tallo principal, la primera rama lateral se ubica a 117.13 cm y la última a 204.60 cm, sobre el nivel del



Figura 11. Características morfológicas de planta de la raza Mesa Central (*Zea mays* spp mexicana)

suelo, tiene 12.67 hojas, y la hoja que se ubica a la altura de la primera rama lateral tiene una longitud de 44.10 cm, de ancho 3.85 cm, y la longitud de la vaina de esta hoja mide 11.33 cm. Por otra parte, la longitud de la hoja bandera mide 31.12 cm y un ancho de 3.85 cm. En promedio cada planta tiene 2.32 hijos (Figura 11). **Mazorca.** La mazorca tiene una longitud de 11.43 cm con 6.36 granos y cada grano pesa 0.46 g. **Distribución geográfica.** En México, esta raza se distribuye en el norte de Michoacán y sur de Guanajuato. En Michoacán se localiza en los alrededores del Lago de Cuitzeo, desde Álvaro Obregón e Indaparapeo hasta los municipios de Morelos y Puruándiro. **Región ecológica.** La vegetación predominante en el área de distribución de la raza Mesa Central es de selva baja caducifolia con climas A(C) y BS (Cuitzeo), a los alrededores del Lago de Cuitzeo,



y de encino en Morelos con clima C(w). **Grupos étnicos.** La región de Charo hasta Morelia estuvo habitada por Matlatzincas y la de Cuitzeo por Teotihuacanos, ambos provenientes de la Mesa Central; posteriormente, estas regiones fueron conquistadas por el imperio P'urhépecha que tenía su dominio en Tzintzuntzán.

Chapala. (*Zea mays spp mexicana*). Esta raza es intermedia en floración entre la raza Balsas y Mesa Central, su media de floración se presentó cinco días después que Mesa Central y 20 que Balsas. **Espiga.** La espiga tiene una longitud aproximada de 44.07 cm, de los cuales 10.63 cm forman la parte ramificada, 12.13 cm la parte de la rama principal y 22.07 cm el pedúnculo. En la parte ramificada se encuentran 14.10.80 ramas primarias, en las cuales se ubican 14.01 ramas secundarias y de éstas no se ubican ramas terciarias. Cada espiga presentó 7.68 entrenudos. De la rama principal se estimó la longitud del pedicelo y tamaño de gluma de la espiguilla, los cuales tuvieron los valores respectivos de 4.35 mm y 8 mm. **Planta.** Ésta tiene aproximadamente 3.10 ramas laterales, las cuales presentaron 9.73 nudos con mazorca, mientras que sobre el tallo principal solo se ubican 5.45 nudos con mazorca. En el tallo principal, la primera rama lateral se ubica a 63.36 cm y la última a 136.41 cm, sobre el nivel del suelo. Tiene 12.65 hojas, la hoja que se ubica a la altura de la primera rama lateral tiene una longitud de 47.70 cm, de ancho 3.91 cm, y con una longitud de la vaina de 8.94 cm. Por otra parte, la longitud de la hoja bandera mide 28.81 cm, con un ancho de 3.15 cm. En promedio cada planta tiene 3.48 hijos (Figura 12). **Mazorca.** La mazorca tiene una longitud de 7.90 cm con 5.56 granos y cada grano pesa 0.39 g. **Distribución geográfica.** Se distribuye en los alrededores de la Laguna de Chapala, desde los municipios de Chavinda, Tangamandapio y Cojumatlán



Figura 12. Características morfológicas de planta de la raza Chapala (*Zea mays spp mexicana*)



hasta Churintzio, Zinaparo y Penjamillo, posiblemente hasta Villa Jiménez y Panindícuaro en el Estado de Michoacán; así como, en La Barca, Ayotlán y Degollado en el Estado de Jalisco. **Región ecológica.** La vegetación donde se recolectó esta raza de teocintle es de selva baja caducifolia y clima A(C). **Grupos étnicos.** Esta región estuvo habitada primero por los grupos étnicos Nahuas y Chichimecas, y posteriormente conquistada por el imperio P'urhépecha.



Figura 13. Características morfológicas de planta de la raza Balsas (*Zea mays* L. spp. *parviglumis*) al frente sin florear y al fondo en flotación a Chapala (*Zea mays* spp. *mexicana*)

Balsas. (*Zea mays* spp. *parviglumis*). Esta raza es más tardía que Mesa Central y Chapala. **Espiga.** La espiga tiene una longitud aproximada de 35.50 cm; de los cuales, 12.86 cm forman la parte ramificada, 8.95 cm la parte de la rama principal y 31.07 cm el pedúnculo. En la parte ramificada se encuentran 18.37 ramas primarias, en las cuales se distribuyen 22.22 ramas secundarias; y de éstas, 1.67 ramas terciarias. Cada espiga presentó 8.96 entrenudos. De la rama principal se estimó la longitud del pedicelo y tamaño de gluma de la espiguilla, los cuales tuvieron los valores respectivos de 3.73 mm y 3.73 mm. **Planta.** Ésta tiene aproximadamente 1.44 ramas laterales, las cuales presentaron 3.87 nudos con mazorca, mientras que sobre el tallo principal solo se ubicaron 7.37 nudos con mazorca. En el tallo principal, la primera rama lateral se ubicó a 43.21 cm, y la última a 128.44 cm, sobre el nivel del suelo. Tiene 15.23 hojas, la hoja que se ubica a la altura de la primera rama lateral tiene una longitud de 49.54 cm, y un ancho de 4.10 cm, con una longitud de la vaina de 7.83 cm. Por otra parte, la longitud de la hoja bandera mide 19.68 cm, con un ancho de 2.82 cm. En promedio cada planta tiene 3.05 hijos (Figura 13). **Mazorca.** La mazorca tiene una longitud de 9.60 cm con 5.67 granos y cada grano pesa 0.42 g. **Distribución geográfica.** En México, esta raza se distribuye en una amplia diversidad de regiones



tropicales en los estados de Oaxaca, Guerrero, Edo. de México, Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit. En Michoacán se localiza en las regiones tropicales de Tierra Caliente y Valle de Apatzingán, desde 500 (Huetamo) hasta 1465 msnm (Punta de la Loma, Tacámbaro). **Región ecológica.** La mayor parte del teocintle se distribuye en los alrededores de la Cuenca del Balsas, con vegetación de selva baja caducifolia y clima BS, y una parte colindando con la parte sur del Eje Neovolcánico Transversal, a elevaciones de 1419 msnm en Puerto Los Laureles en Benito Juárez, 1223 msnm en Taretan y 1437 msnm en La Ceiba en Tzitzio. La vegetación que predomina en la parte sur del Eje Neovolcánico Transversal es de pino-encino con clima (A)C. **Grupos étnicos.** Regiones habitadas por Chichimecas y de dominio P'urhépecha.

Chalco (*Zea mays* spp *mexicana*). De acuerdo con Sánchez *et al.*, (1998), en Michoacán esta raza se distribuye en los municipios de Hidalgo y Salvador Escalante (Opopeo) ubicados en el Eje Volcánico Transversal, aunque su área



Figura 14. Planta de teocintle perenne tetraploide (*Zea mays* spp *perennis*) de Ziracuaretiro, Michoacán.

natural de distribución se ubica en el Valle de México. Queda pendiente su caracterización y establecer su relación con los otros teocintles anuales.

Teocintle perenne tetraploide. (*Zea mays* spp *perennis*). Recientemente, el Programa de Maíz del Centro Regional Universitario Centro Occidente de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), encontró en el municipio de Ziracuaretiro, Michoacán de Ocampo un sitio donde se recolectó teocintle tetraploide (Figura 14). Queda pendiente su caracterización.

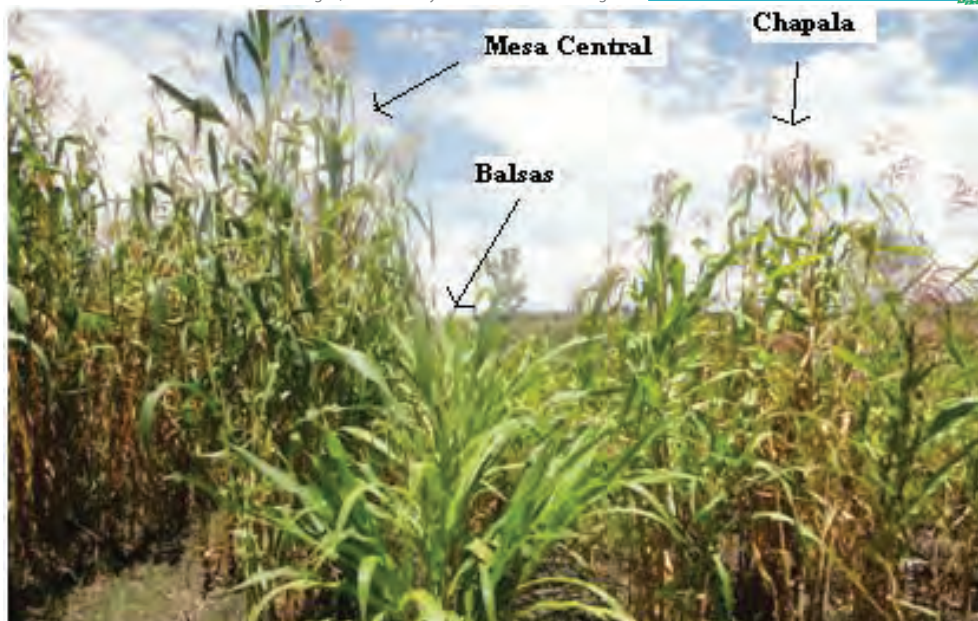


Figura 15. Diferencias morfológicas de planta, precocidad y espiga entre las razas Mesa Central (izquierda), Balsas (centro) y Chapala (derecha).

SIMILITUDES Y DIFERENCIAS ENTRE LAS spp *parviglumis* y *mexicana*, ASÍ COMO ENTRE LAS RAZAS BALSAS, CHAPALA Y MESA CENTRAL

A nivel de subespecie existen las siguientes similitudes y diferencias: **Similitudes.** La spp *mexicana* aún es similar a la spp *parviglumis* en las siguientes características: longitud de la parte ramificada (LPR), longitud del pedicelo de la espiguilla (LPE), longitud de la hoja bandera (LHB), ancho de la hoja de la primera rama lateral (AHPRL), número de ramas laterales (NRL) en la planta y número de granos por mazorca (NGMZ). **Diferencias.** La spp *mexicana* ha cambiado de la spp *parviglumis* en las siguientes características: en la espiga; en el número de ramas laterales primarias (NRLP=12.19) y secundarias (NRLS=14.93), las cueles son menores en la *mexicana* que en *parviglumis* (18.37 y 23.22, respectivamente), mientras que en ramas terciarias es mayor en *parviglumis* (1.67), y en *mexicana* están ausentes. Otro cambio que ocurrió en la espiga, es que la longitud de la gluma (LG) en la espiguilla es mayor en *mexicana* (8.48 mm) que en *parviglumis* (3.73 mm). En la planta, la spp *mexicana* tiene menor número de hojas por planta (NTH=12.66) que en la spp *parviglumis* (15.23), y los nudos con mazorca (NTNMZ) en el tallo principal 5.23 vs 7.39; respectivamente (Figura 15).



A nivel de raza, Balsas, Chapala y Mesa Central son totalmente diferentes en las siguientes características: en la altura de la primera rama lateral (APRL), en Balsas que es progenitor de Chapala y Mesa Central, se ubica a 43.21 cm, en Chapala que es un teocintle intermedio entre Balsas y Mesa Central a 63.36 cm y Mesa Central de Cuitzeo a 117.13 cm, que posiblemente se diferenció a partir de Chapala. En el caso anterior, pareciera ser que durante el proceso de evolución del teocintle a maíz, el hombre fue subiendo la altura de la primera rama lateral (donde se formaría la primera mazorca), debido a que ésta se ubicaba a una altura baja (43.21 cm), y el hombre tendría que agacharse a cosechar la mazorca. En este proceso de subir la altura de la mazorca, el área donde se distribuyen se modificó al pasar de 38.20 cm (distancia entre la primera y última rama lateral) en la spp *parviglumis* a 80 cm en la spp *mexicana*, lo cual explica la gran diversidad de posiciones de la mazorca en el maíz cultivado. Otra característica propia de cada una de las razas, es la longitud de la rama principal de la espiga (LRP), la cual hasta ahora es difícil de explicar respecto a qué mecanismos evolutivos originaron su modificación.

Es probable, que efectivamente el maíz sea producto de la domesticación del teocintle por el hombre, a partir de un proceso de selección (Beadle,

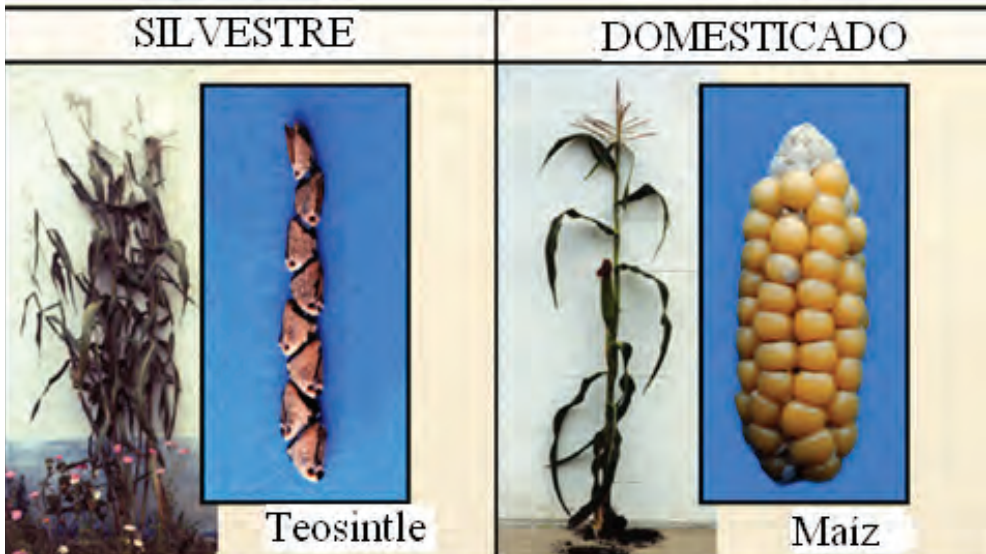


Figura 16. Diferencias morfológicas entre teocintle y maíz domesticado. Tomado de Doebley *et al.*, (2006)



1939), y no solo por un evento evolutivo, como lo propone Matsuoka *et al.*, (2002), a partir de una población pequeña (Hilton y Gaut, 1998); aunque ciertamente, no se ha explicado si después de las mutaciones que propone Matsuoka y colaboradores, el hombre empezó a domesticar el maíz. Durante este proceso de selección, el hombre fue dándole una arquitectura a la planta, de acuerdo a sus necesidades antropocéntricas y ambientales. Fue reduciendo el número de ramas laterales primarias (NRLP), secundarias (NRLS) y terciarias (NRLT) de la espiga, es decir, fue haciendo una espiga más pequeña. También redujo el número de hojas (NTH) y el número de nudos con mazorcas (NTNMZ), pero aumentó la longitud de la mazorca (LMZ) y el peso de grano (PG). Durante este proceso de selección fueron eliminadas o modificadas las características de la planta, dejando solo un tallo, una o dos mazorcas con más granos por hilera, granos no encapsulados, menos 'hijos', eliminó la dormancia, y sobre todo, intervino en su proceso de cultivo (Doebley *et al.*, 2006) (Figura 16).

CLASIFICACIÓN CON TAXONOMÍA NUMÉRICA

Análisis de conglomerados (AC)

De acuerdo con Font-Quer (1979), las clasificaciones raciales vegetales pueden ayudar a definir las relaciones evolutivas de las poblaciones vegetales y para agruparlas se buscan grados de similitud (Dobzhansky, 1982) o disimilitud entre ellas. Desde el punto de vista botánico, raza es la jerarquía taxonómica comprendida entre la subespecie y la variedad (Font-Quer, 1979) y para separar una de otra, surge el problema para definir qué tanta diferenciación genética existe entre ambas poblaciones (Stansfield, 1977). En el caso del análisis de conglomerados (AC) (Figura 17), a la distancia de 1.20 semiparcial R^2 del método de Ward se puede observar que las colectas de teocintle se agruparon en las spp *parviglumis* y *mexicana*, y a 0.80 la spp *mexicana* se dividió en las razas Chapala (G2) y Mesa Central (G3), de la de Cuitzeo y sus alrededores. Si esta misma distancia la usamos también para subdividir a la raza Balsas, los teocintles de El Limón de Papatzindán, Tiquicheo (T-064), El Limoncito en Tzitzio (T-045) y Ejutla en Jalisco, formarían variación adicional; es decir, nuevas

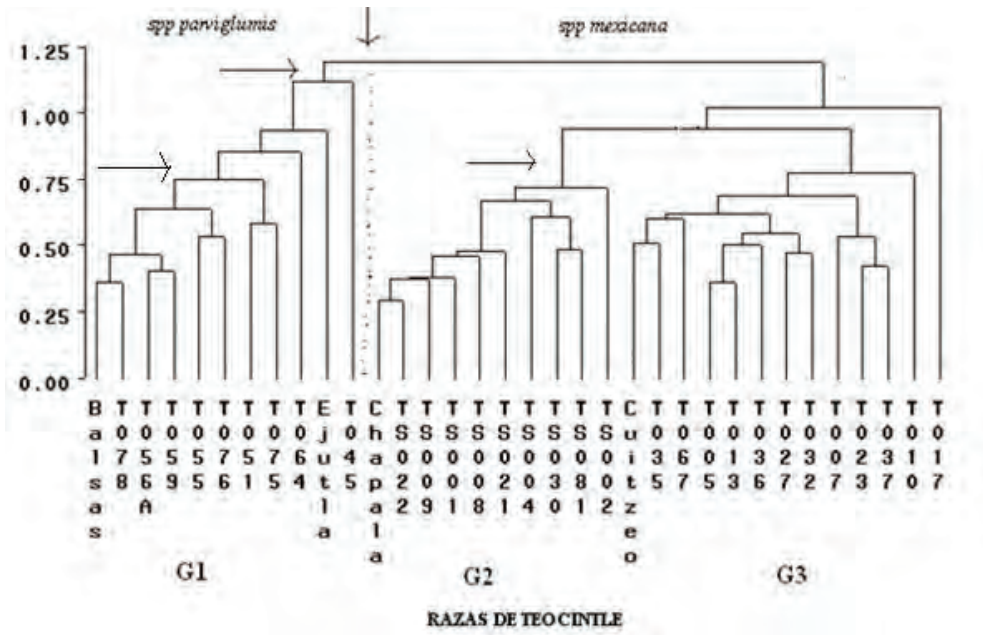


Figura 17. Dendrograma del análisis de conglomerados de las razas de teocintle Balsas (G1) Chapala (G2) y Mesa Central (G3)

razas como lo sugiere Doebley (1900 a; 1900 b) razas. Sólo la colecta T-017 de Tendeparacua, Huaniqueo, la cual también pertenece a la *spp mexicana*, tuvo una distribución atípica debido a que fue recolectada a la orilla de cultivo de maíz y puede ser un híbrido entre ambos maíces. La nueva raza Chapala (*Zea mays spp mexicana*) que se propone, se ubica intermedia entre las razas Balsas (*Zea mays spp parviglumis*) de adaptación tropical, y Mesa Central (*Zea mays spp mexicana*) de adaptación subtropical, debido a que como ya se indicó, comparten similar número de características agronómicas. Por lo antes expuesto, y considerando los criterios de Benson (1962) para definir una raza como son: que sea genéticamente diferente y que comparta un área geográfica y ecológicamente específica, se puede decir que Chapala se distingue de la raza Mesa Central al forma un grupo genético diferente (G2), mismas que varios investigadores tenían agrupadas de la misma raza (Wilkes, 1967; Iltis y Doebley, 1984; Sánchez *et al.*, 1998). La raza Chapala tiene una distribución geográfica definida, al localizarse en los alrededores de la Ciénega de Chapala (donde en el Opeño en los años 2000 a 200 a.C. se inició la agricultura) y ecológicamente, crece en un clima A(C) donde prospera vegetación de matorral espinoso.



Usando caracteres agronómicos y de nudos cromosómicos, Sánchez *et al.*, (1998) también encontraron que la raza Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*) se agrupó intermedia entre las razas Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*) y Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*); así como, también mantiene una relación filogenética con las razas Durango y Nabogame de la spp *mexicana* (Matsuoka *et al.*, 2005; Buckler *et al.*, 2006). Con análisis moleculares, Matsuoka *et al.*, (2002) también reportan que muestras de la región de Chapala representan un punto evolutivo intermedio o son híbridos entre la raza Balsas y Mesa Central (Fukunaga *et al.*, 2005).

La spp *parviglumis* presentó la mayor diversidad morfológica, debido a que formó subgrupos genéticos hasta la distancia de 1.20 del método de Ward y la spp *mexicana* se diferenció a una distancia de 0.80; es decir, 0.40 unidades menos que la spp *parviglumis*, esta gran variación genética ya ha sido reportada por Smith *et al.*, (1981) y Doebley (1990b). A pesar de ello, la spp *mexicana* se ha diferenciado en las razas Mesa Central, Chalco, Nabogame, Durango y en la actualmente descrita Chapala, mientras que la spp *parviglumis* solo en Balsas, debido posiblemente a que la spp *mexicana* ha sido dispersada a ambientes más contrastantes (subtrópico y valles altos a altitudes de 1500 a más de 2500 msnm), y por haber estado en contacto con más grupos étnicos (culturas del Occidente, del norte y Valle de México) que la spp *parviglumis* (trópico a altitudes de 500 a 1200 msnm) (Figura 4 y 5).

En el eje de la X no se puede explicar la diferenciación de las razas desde el punto de vista altitudinal; es decir, si el teocintle fue cambiando al ser llevado por el hombre de ambientes tropicales a mayores altitudes (subtropicales y templados).

Análisis discriminante canónico (ADC)

Distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2)

La distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2), del análisis discriminante canónico (ADC); la cual mide la divergencia genética y está relacionada con la geográfica de los teocintles estudiados, presentó los valores de



34.93, 63.53 y 134.61, los cuales de acuerdo a la prueba de F aproximada fueron estadísticamente altamente significativos ($p \leq 0.01$). El primer valor corresponde a la divergencia morfológica entre las razas Chapala (G2) y Mesa Central (G3), el segundo entre Chapala (G2) y Balsas (G1) y finalmente, entre Mesa Central (G3) con Balsas (G1). Estos valores indican que la raza Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*) presentó la mayor similitud con Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*), y la menor se presentó entre Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*) de Cuitzeo y sus alrededores con Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*) de las regiones tropicales de Michoacán; mientras que la similitud entre Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*) y Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*) presentó un valor casi 'intermedio'. Dichos resultados coinciden con la prueba de Tukey de comparación de medias (Cuadro 2A), en donde la raza Chapala (*Zea mays* spp *mexicanas*) es similar a Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*) y Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*), en seis y cinco características; respectivamente, mientras que Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*) con Balsas (*Zea mays* spp *parviglumis*) lo fue sólo en dos de las 24 características estudiadas.

Funciones discriminantes (FD)

Sobre el origen y domesticación del maíz se han postulado varias hipótesis (Kato *et al.*, 2009), acerca de su origen se ha aceptado la hipótesis que éste se originó a partir del teocintle anual raza Balsas (*Zea mays* L. spp *parviglumis*) (Beadle, 1939; Kato, 1976; Doebley *et al.*, 1984, 1987) de la parte central de Guerrero (Piperno *et al.*, 2007); sin embargo, aún quedan muchas preguntas por responder sobre cuándo, cómo ocurrió el proceso de domesticación, diferenciación y dispersión.

Para explicar la posible diferenciación morfológica entre las spp *parviglumis* y *mexicana* en Michoacán, en la Figura 18A y 18B se plantean dos hipótesis. La primera (Figura 18A) consiste en que a partir del teocintle raza Chapala se diferenciaron las razas Balsas y Mesa Central, y la segunda (Figura 18B) que a partir de la raza Balsas se derivó primero la raza Chapala y de ésta raza la Mesa Central de Cuitzeo y posiblemente también las razas Nabogame, Durango, como lo postulan algunos investigadores (Sánchez *et al.*, 1998; Fukunaga *et al.*, 2005; Buckler *et al.*, 2006), así como la raza Chalco.

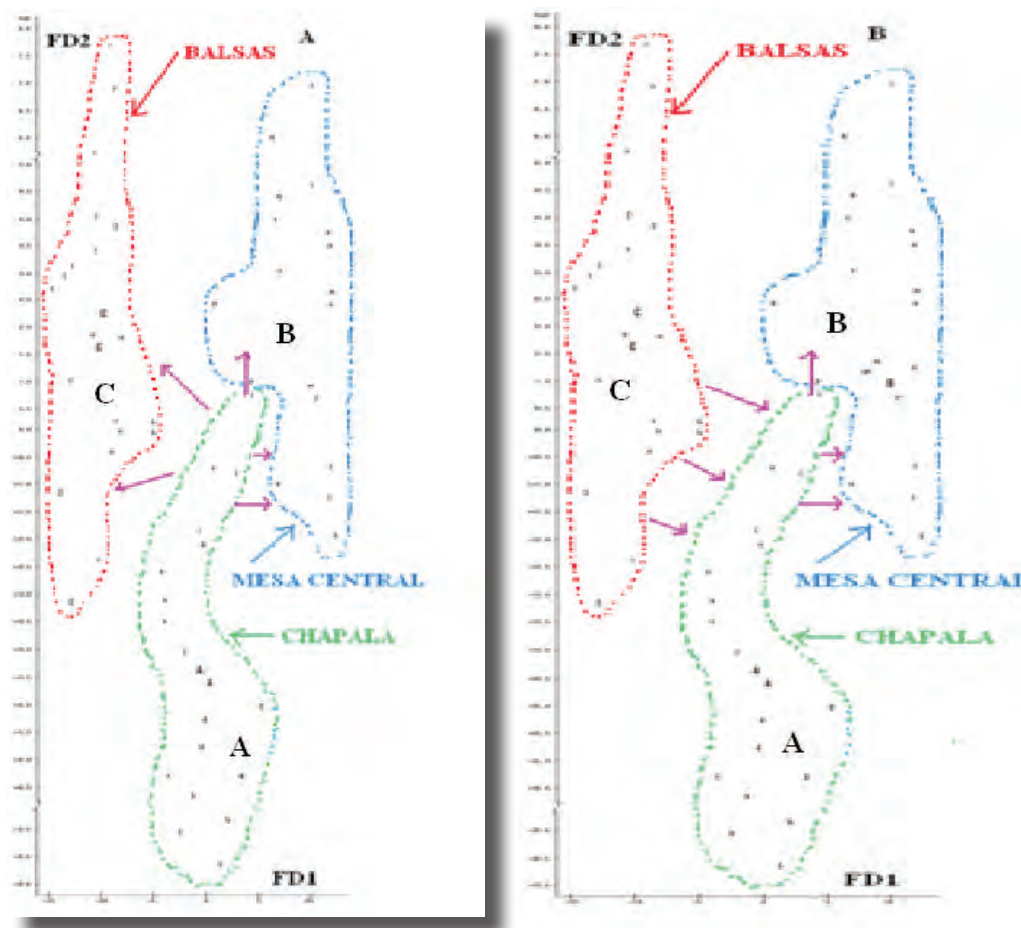


Figura 18. Funciones discriminantes (FD). Hipótesis de diferenciación (A y B) de las razas Balsas, Chapala y Mesa Central de Cuitzeo y sus alrededores.

La primer hipótesis está apoyada en el planteamiento que hacen Miranda (2003) y Zizumbo *et al.*, (2008), quienes mencionan que en el Occidente de México se inició la domesticación del maíz, de ahí éste y otras especies fueron dispersadas al Valle y sur de México (Pohl *et al.*, 1996; Sluyter y Domínguez, 2006; Pohl *et al.*, 2007). Sobre este planteamiento, las prueba de medias de Tukey (Cuadro 3A) y las F aproximadas multivariadas de Lambda de Wilks, Traza de Pillai, Traza de Hotelling-Lowley y Raíz Máxima de Roy, así como la distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2), indican que todos los teocintles son estadísticamente diferentes; sin embargo, la raza Balsas con Mesa Central son las más divergentes morfológicamente y la



raza Chapala es intermedia entre ambas, al compartir similar número de características morfológicas, por lo que no es posible que la raza Chapala haya dado origen al Balsas. Además, Buckler *et al.*, (2006) indican que a partir de la raza Balsas evolucionaron las razas de la *spp mexicana* a la cual pertenece Chapala (Figura 12), y que dentro de esta subespecie, las razas Chalco y Mesa Central son las más evolucionadas, debido a que tienen mayor similitud morfológica al maíz cultivado (Wilkes, 1967). Otro punto en contra de esta hipótesis se basa en que Fukunaga *et al.*, (2005) encontraron que el maíz contiene de un 25% o más de germoplasma de la raza Balsas, mientras que de la *spp mexicana* (Chalco y Mesa Central) solo un 8%.

En la Figura 18B se observa que la raza Chapala (A) y Mesa Central (B) de Cuitzeo, formaron un complejo genético bien definido perteneciente a la *spp mexicana*, mientras que Balsas formó otro grupo genético diferente. En dicho complejo se observa un 'continuo', por lo que es posible que la raza Mesa Central de Cuitzeo haya derivado de la raza Chapala, en este 'continuo', la colecta de Penjamillo (J=T-017) de la raza Chapala se encuentra muy próxima a las colectas de Puruándiro (O=T-035), Morelos (m=T-013) y Cuitzeo (r=T-005) de la raza Mesa Central, las cuales geográficamente se encuentran concatenadas y muy próximas (municipios cercanos linealmente), por lo que deben ser muy similares y forman el punto de conexión entre las dos razas. Caso contrario ocurre entre las colectas de Ecuándureo (b=TS-030 y h=TS-022) de la raza Chapala con las de Chucándiro (q=T-023 y t=T-007) e Indaparapeo (s=T-067) de la raza Mesa Central, las cuales son las más divergentes geográficamente y es posible, que también morfológicamente. De acuerdo a lo anterior, es probable que la raza Mesa Central de Cuitzeo y sus alrededores, haya sido derivada de la raza Chapala y no viceversa, como lo propone Buckler *et al.*, (2006).

Sobre las relaciones filogenéticas de las razas de teocintle anual en México, Fukunaga *et al.*, (2005) (Figura 19) y Buckler *et al.*, (2006) (Figura 20) usando modelos filogenéticos, encontraron que los teocintles de la raza Balsas (*spp parviglumis*) de la parte Este de Guerrero, tienen parentesco con la *spp mexicana*; sin embargo, de acuerdo con Buckler *et al.*, (2006) estos se conectaron con la raza Chalco y los de Fukunaga *et al.*, (2005) forman un nodo de conexión intermedio, que se ubica entre la raza Mesa Central (colectas de Cuitzeo y Chapala) y Chalco.

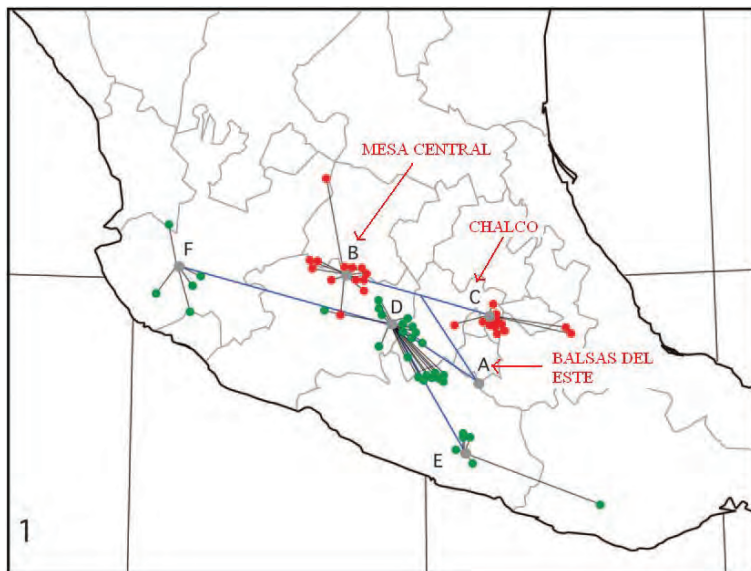


Figura 19. Posibles rutas de dispersión del teocintle en México y Michoacán de acuerdo con Fukunaga *et al.*, (2005). Entre las razas Mesa Central (B) y Chalco (C) existe un nodo intermedio proveniente de la raza Balsas de la parte Este de Guerrero (A).

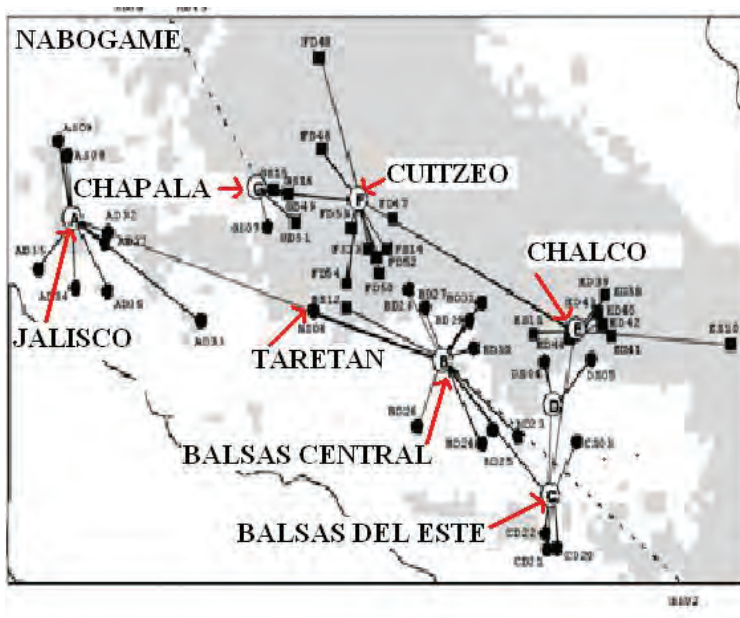


Figura 20. Posibles rutas de dispersión del teocintle en México y Michoacán de acuerdo a Buckler *et al.*, (2006). De Jalisco (A) a Guerrero (B, C y D) para la *spp parviglumis* de C (Balsas del Este) al Valle de México (Chalco), de Chalco (C) a Cuitzeo (F), de Cuitzeo a Chapala (G) y de Chapala a Nabogame (H) para la *spp mexicana*



Las preguntas que ahora surgen son: ¿a dónde fue primero llevado el teocintle de la raza Balsas de la parte Este de Guerrero? ¿al Valle de México, para formar la raza Chalco, a Cuitzeo o Chapala para formar la raza Mesa Central o Chapala, respectivamente?. Los resultados de esta investigación indican, que la raza Mesa Central de Cuitzeo se diferenció de la raza Chapala (Figura 18B) y que ésta es intermedia entre las razas Balsas y Mesa Central (Sánchez *et al.*, 1998; Fukunaga *et al.*, 2005), lo cual sugiere que si Fukunaga *et al.*, (2005) hubieran separado los teocintles de Chapala (que contienen más germoplasma de la raza Balsas que los de Cuitzeo) (Figura 21), el nodo de interconexión entre las razas Chalco y Mesa Central se hubiera conectado con los de la raza Chapala (debido a que por regla, todos los nodos deben ser conectados entre puntos de origen), tal y como se propone en la Figura 22, donde también se indican dos posibles rutas evolutivas del teocintle en Michoacán. Ruta 1 (líneas de color café), propone que el teocintle raza Chapala (*spp mexicana*) fue introducido de la parte Este de la región Balsas (A), y de ahí hubo dos subrutas evolutivas: una (1a) que migró hacia Cuitzeo para formar la raza Mesa Central, y posteriormente la raza Chalco en el Valle de México. La segunda (1b), que a partir de la misma raza Chapala

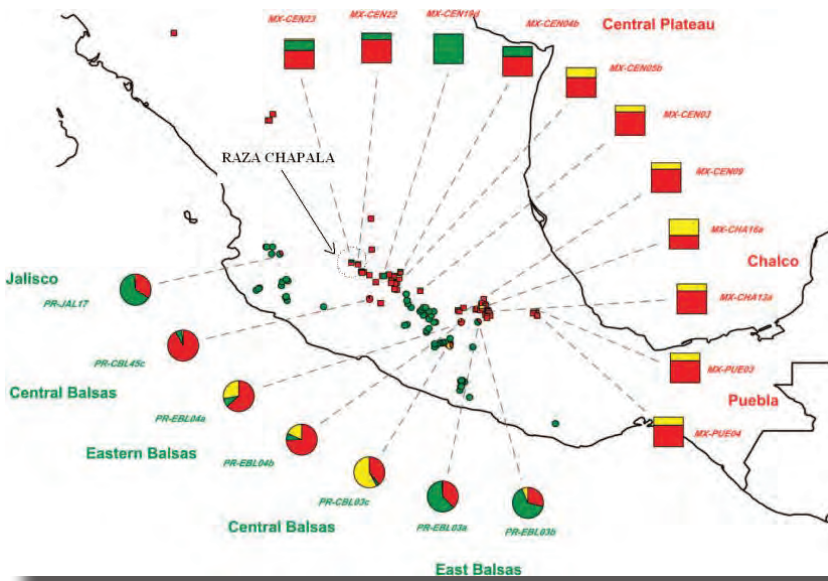


Figura 21. Mapa que muestra los teocintles de la raza Chapala (cuadro rojo con verde) que contienen alto porcentaje de germoplasma de la raza Balsas. Tomado de Fukunaga *et al.*, (2005).

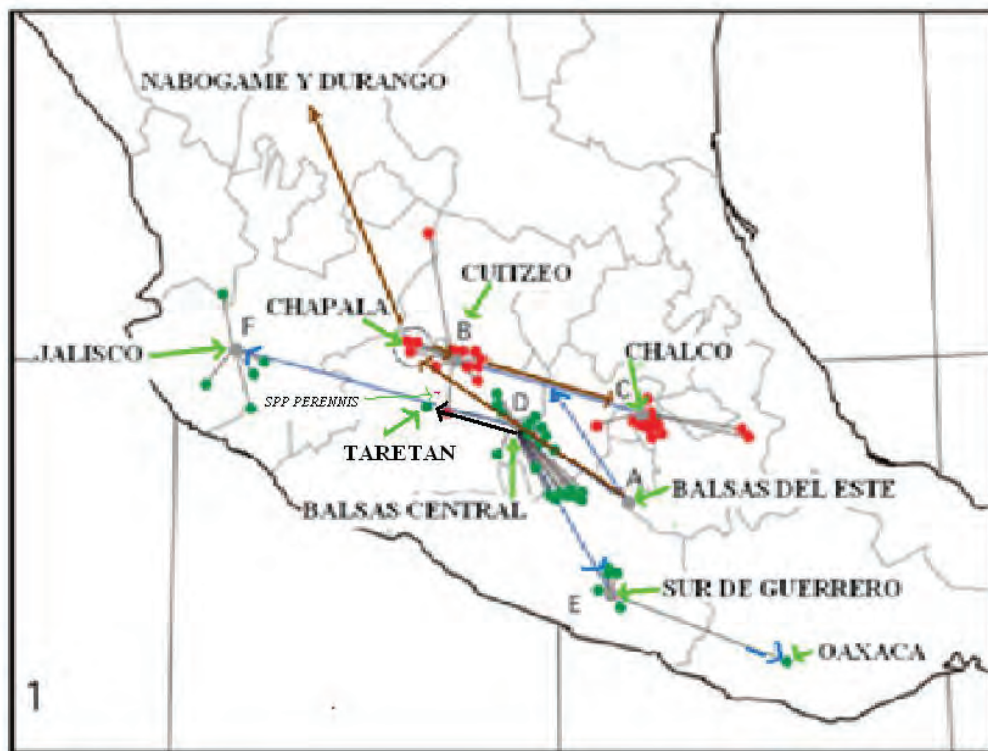


Figura 22. Posibles rutas de dispersión del teocintle en México y Michoacán de acuerdo con Fukunaga *et al.*, (2005) y adaptado por Carrera *et al.*, (2011). Para Michoacán se proponen dos rutas evolutivas del teocintle. Ruta 1 (líneas color café) y 2 (línea color negro)

(Occidente) existió una ruta de migración al norte de México, donde se formaron las razas Nabogame y Durango. La ruta 2 indica que a partir del teocintle raza Balsas Central (*spp parviglumis*), el cual también dio origen al Balsas del Este de donde evolucionó la raza Chapala, hubo una migración de este teocintle hacia Colima y Jalisco, pasando por Taretan, en Michoacán. A partir del teocintle de Taretan se originó el teocintle tetraploide *Zea perennis* de Ziracuaretiro, en el mismo Estado.

Sobre quién introdujo y domesticó el teocintle en Michoacán; así como, su dispersión a otras partes de México, no ha sido posible definir la relación con alguno o varios grupos étnicos de México. Se sabe que el Opeño (Laguna de Chapala) estuvo habitado entre los años 1500-1200 a.C. por la cultura Capacha de Colima (Mountjoy, 1994; Oliveros, 2006), que habitó la costa del Pacífico centro al norte. Posterior a esta, la cultura Teotihuacana en los años



1-650 d.C., habitó las zonas arqueológicas de Cuitzeo y Tingambato, años que se traslapan con su establecimiento (200-900 d.C.) en Teotihuacán en el Valle de México; sin embargo primero habitó el estado de Michoacán y posiblemente después migraron a Teotihuacán. Posteriormente, el estado de Michoacán estuvo habitado por la Cultura Tolteca (900-1200 d.C.), y finalmente por la P'urhépecha (1100-1530 d.C.). Una vez establecida la Cultura P'urhépecha, conquistó la parte sur de Guanajuato y Jalisco, así como la occidente de Guerrero. En el caso del Valle de México, según Wilkes (1995), posiblemente los Aztecas introdujeron el teocintle de las partes tropicales de Guerrero para formar los jardines botánicos de Xochimilco. La pregunta obligada, ¿Quién introdujo el teocintle a Michoacán, la cultura Capacha al Opeño, la Teotihuacana a Cuitzeo, o la P'urhépecha a Tzintzuntán, u otros grupos nómadas antes de las culturas antes mencionadas?

Queda claro que efectivamente en la región de Chapala y de Cuitzeo (Occidente de México) el teocintle estuvo sujeto a un proceso de domesticación y diversificación, como lo sugieren Fukunaga *et al.*, (2005). Si la domesticación del teocintle la inició la cultura Capacha, (la cual es considerada como una de las más antiguas en el Occidente de México) en el Opeño a partir de los años 1,500-1,200 a.C., faltarían aproximadamente 4,500 años de información, si consideramos que la domesticación del maíz se inició hace aproximadamente 10 mil años (Doebley, 2004), lo cual indica que el proceso de domesticación la iniciaron grupos indígenas nómadas que no pertenecían a ninguna cultura.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

En el análisis de componentes principales (ACP), los caracteres que presentaron mayor desviación en la matriz de correlación fueron LMMZ, APM y AMZ, con valores respectivos de 25.19, 48.26 y 55.81, los cuales fueron al menos significativos en la prueba de F del análisis de varianza univariado (Cuadro 1) y diferentes con la prueba de Tukey (Cuadro 2). El primer componente principal (CP1), el cual está integrado por los caracteres NRLT, LVH, AHB, NTH y AHPRL, explica el 42% de la variación total, mientras que el segundo componente (CP2) lo integran NRLP, LHB, LG, LE, LRP y LMMZ, y explica el 22%. En el ACP, a las razas de teocintle ya descritas: Mesa Central (*Zea mays ssp mexicana*) y Balsas (*Zea mays spp parviglumis*), así como a



la propuesta Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*) se separan en tres grupos genéticos (G1, G2 y G3) bien definidos (Figura 23), aunque las tres razas aún continúan formando un gran complejo genético, en donde se forma una ruta monofilética, la raza Balsas (*Zea mays* ssp *parviglumis*) es la base de la evolución de la ssp *mexicana* (Buckler *et al.*, 2006), dando primero origen a la raza Chapala y ésta a Mesa Central de Cuitzeo, indicando una parte de la ruta 1 de la evolución de la ssp *mexicana*, como ya se indicó anteriormente; y si es cierto el supuesto, que la raza Mesa Central de Cuitzeo dio origen a la raza Chalco (1a), la cual de acuerdo con Wilkes (1967) es la más evolucionada, pero que no dio origen a ningún maíz (Smith *et al.*, 1984; Doebley, 1990a) (Figura 23). Otra subruta (1b) parte de la raza Chapala para dar origen a las razas Nabogame y Durango, mientras que la segunda ruta evolutiva, parte de la raza Balsas Central (ssp *parviglumis*), la cual dio origen al teocintle de Taretan, así como a los de Colima, Jalisco y Nayarit (ssp *parviglumis*), el primero al perenne tetraploide (*Zea perennis*) de Ziracuaretiro. Las dos rutas antes mencionadas solo dieron origen a teocintles perennes (*Zea perennis*), y a los anuales de las razas Chalco, Nabogame y Durango, los cuales al parecer podrían ser los más evolucionados por terminar en las rutas evolutivas (Figura 24). La tercer ruta evolutiva parte de la raza Balsas Central (ssp *parviglumis*) para dar origen al maíz domesticado (Matsuoka *et al.*, 2002).

Sobre la hipótesis de Galinat (1991) de que hubo dos rutas evolutivas en la formación del maíz domesticado (Figura 25), se

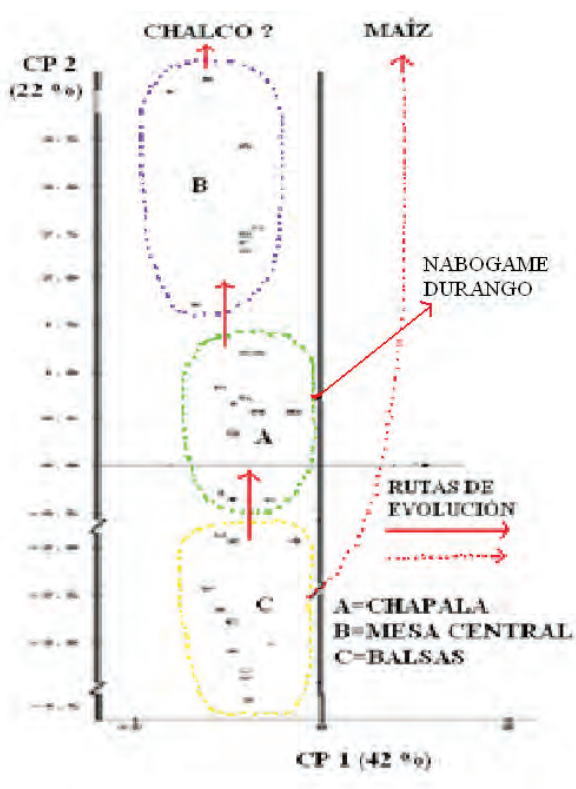


Figura 23. Análisis de componentes principales (ACP) de las tres razas de teocintle anual en Michoacán y posibles rutas de evolución del maíz y teocintle.

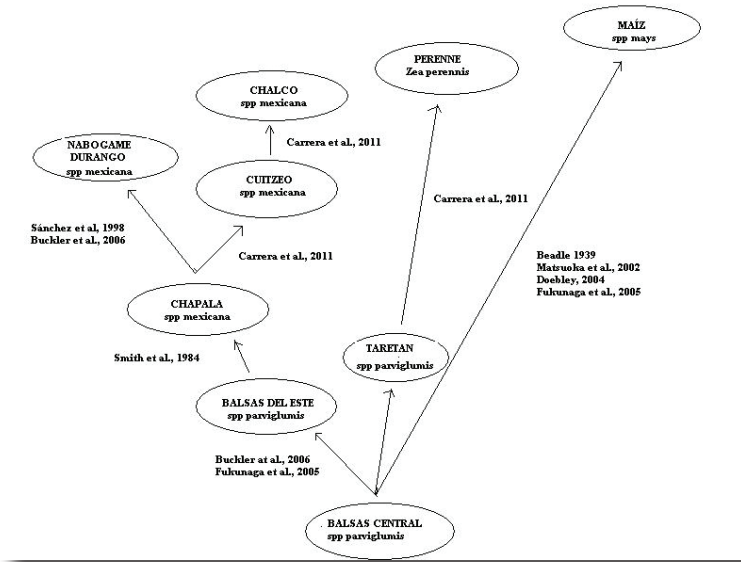
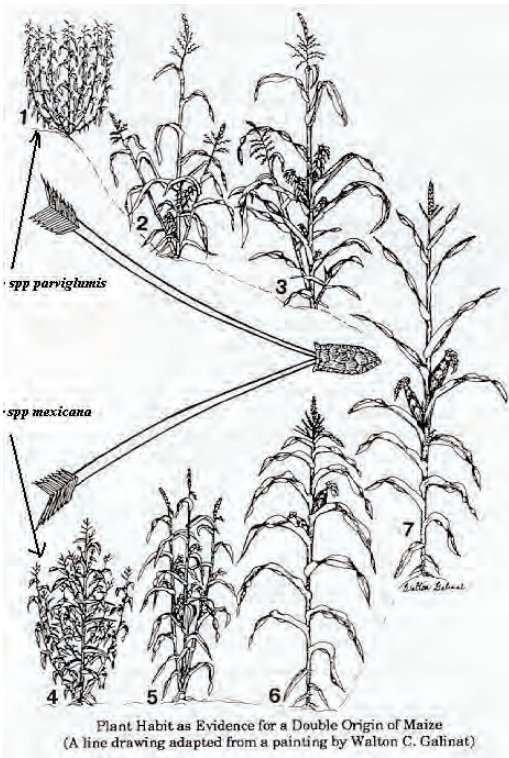


Figura 24. Posibles rutas de evolución del teocintle en Michoacán



puede decir que: se ha demostrado que el maíz evolucionó de la raza Balsas Central (*spp parviglumis*) (Matsuoka *et al.*, 2002) donde convergen Guerrero, Michoacán y Morelos, aunque más recientemente Piperno *et al.*, (2007) indican que fue del teocintle de la parte central de Guerrero, y que a partir de la raza Chalco no evolucionó ningún otro tipo de maíz (Smith *et al.*, 1984; Doebley, 1990a).

Figura 25. Rutas evolutivas del maíz según Galinat (1991) 1. A partir de la raza Balsas (*spp parviglumis*) se originaron los maíces cristalinos (3) y 2. A partir de Chalco (*spp mexicana*) los maíces dentados (6), los cuales se cruzaron y dieron origen a la raza de maíz Corn Belt Dent (7) de los Estados Unidos de America.



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con taxonomía numérica permitieron separar morfológicamente las poblaciones de teocintle distribuidas en los alrededores de la Laguna de Chapala de las del Lago de Cuitzeo, ambas pertenecientes a la raza Mesa Central (*Zea mays* spp *mexicana*), por lo que se sugiere que las poblaciones de Chapala formen la nueva raza Chapala perteneciente a la misma spp *mexicana*.

De las siete razas de teocintle en México, en Michoacán se distribuyen las razas anuales Chapala, Mesa Central y Chalco pertenecientes a la spp *mexicana*, Balsas a la spp *parviglumis* y una tetraploide de reciente recolección a *Zea perennis*.

Se sugiere como centro de predomesticación, diversificación y dispersión del teocintle spp *mexicana* la región de la Laguna de Chapala, debido a que al parecer la raza Chapala es el sucesor inmediato del teocintle Balsas de la parte Este (spp *parviglumis*) y progenitor de las razas Mesa Central de Cuitzeo, Nabogame de Chihuahua, Durango y posiblemente también de la raza Chalco.

A partir de la región Laguna de Chapala, el teocintle fue dispersado a través de dos rutas de migración, una hacia el Lago de Cuitzeo y de ahí



posiblemente hacia el Valle de México para formar la raza Chalco y otra hacia el norte de México para formar las razas Nabogame y Durango.

Se acepta la hipótesis que el teocintle raza Chapala (*Zea mays* spp *mexicana*) fue introducido de la parte Este de Guerrero a partir de la raza Balsas (spp *parviglumis*), y no a través de los ríos Santiago-Lerma desde Nayarit a la Laguna de Chapala o Armería-Tuxcacuexco en el estado de Colima hacia la Laguna de Chapala.

LITERATURA CITADA

- Affi, A. A. and Clark, V. (1996).** Computer-Aided Multivariate Analysis. Chapman y Hall. London. 455 p.
- Anderson, E. and H. Cutler (1942).** Races of *Zea mays*. I. Their recognition and classification. Ann. Mo. Bot. Garden 21: 69-88.
- Aragón C., F. T. Suketoshi, J. M. Henández C., J. de D. Figueroa C., V. Serrano A. y F. H. Castro G. (2006).** Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. Libro Técnico No. 6. INIFAP-CIRF-CEVC. Oaxaca, México. 343 p.
- Barrientos L., G. (2004).** Pueblos indígenas de México contemporáneo. Otomíes del Estado de México. CDI-PNUD. México, D.F. 31 p.
- Beadle, G. W. (1939).** Teocinte and the origin of maize. J. Heredity 30:245-247.
- Benson, L. (1962).** Plant Taxonomy. Methods and Principles. The Royal Press Co. New York, U.S.A. 494 p.
- Benz, B. F. (1986).** Taxonomy and evolution of Mexican maize. Unpublished Ph. D. Dissertation. University of Wisconsin. 433 p.
- Brown, R. B. (1985).** A summary of the Late-Quaternary pollen records from México west of the isthmus of Tehuacán. In: V. M. Bryant, R. G. Holloway (eds.). Pollen records of Late-Quaternary North American sediments. Am. Assoc. of Stratigraphic Palynologists Foundation. Dallas, Texas.
- Brown, A. H. D. (1989).** Core collections: A practical approach to genetic resources management. Genome 31:818-824.
- Buckler, E. S. IV, D. M. Pearsall and T. P. Hoesford (1998).** Climate plant ecology and central Mexican Archaic subsistence. Current Anthropology 39:152-164.
- Buckler, E. S. IV, M. M. Goodman, T. P. Holtsford, J. F. Doebley and J. J. Sánchez G. (2006).** Phylogeography of the wild subspecies of the *Zea mays*. Maydica 51:123-134.
- Castilo, G. F (Colegio de Posgraduados) y R. Ortega P. (Universidad Autónoma Chapingo)** (Comunicación personal 22 octubre del 2004)
- Camussi, A., Z. P. L. Spagnolet and P. Melchorre (1983).** Numerical taxonomy of Italian maize population: genetic distances on the basis of heterotic effects. Maydica 28:411-424.

- Cervantes S., T., M. M. Goodman, E. Casas D. and J. O. Rawlings (1978).** Use of genetic effects and genotype by environmental interactions for the classification of Mexican races of maize. *Genetics*. 90(2):339-348.
- Crossa, J., K. Basford, S. Taba, I. Delacy and E. Silva (1995).** Three-mode analyses of maize using morphological and agronomic attributes measured in multilocation trials. *Crop Sci*. 35:1483-1491.
- Crossa, J., S. Taba, S. A. Eberhart, P. Bretting and R. Vencovsky (1994).** Practical considerations for maintaining in maize. *Theor. Appl. Genet.* 89:89-95
- Cruz-Castillo, J. G., R. McKay, G. S. Lawes and D. J. Woolley (1994).** Canonical discriminant analysis in kiwifruit rootstock research. *Acta Horticulturae* 313:143-148.
- Colinvaux, P. A., K. B. Lu, P. de Oliveira, M. B. Bush, M. C. Miller and M. S. Kannan (1996).** Temperature depression in the lowland tropics in glacial times. *Climatic Change* 32:19-33.
- Dahlgren, B. (1967).** Los Purépechas de Michoacán. *Historia Prehispánica*. Museo Nacional de Antropología. Sección de Difusión Cultural. INAH-SEP. 20 p.
- De Sahagún, Fray B. (1989).** *Historia general de las cosas de Nueva España*. (Códice Florentino) Vol. 1 y 2. Consejo Nacional Para la Cultura y las Artes- Alianza Editorial Mexicana. México DF. 116 p.
- de Wet, J. M. J. and J. R. Harlan (1975).** Weeds and domesticates: Evolution in the man-made-habitat. *Econ. Bot.* 29:99-109.
- Dobzhansky, T. (1982).** *Genetics and the Origin of Species*. Columbia University Press. Series: The Columbia Classics in Evolution. New York, U.S.A. 364 p.
- Doebley, J. F. and H. H. Iltis (1980).** Taxonomy of *Zea* (Gramineae) I. A subgeneric classification with key to taxa. *Amer. J. Bot.* 67:982-993.
- Doebley, J. F. (1983).** A Brief note on the rediscovery of Durango teosinte. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 57:127-128.
- Doebley, J. F., M. M. Goodman and C. W. Stuber (1984).** Isoenzimatic variation in *Zea* (Gramineae). *Systematic Botany* 9:203-218.
- Doebley, J. F. (1990a).** Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44:6-27.
- Doebley, J. F. (1990b).** Molecular systematics of *Zea* (Gramineae). *Maydica* 35:143-150.
- Doebley, J. F., A. Bacigalupo and A. Stec (1994).** Inheritance of kernel weight in two maize-teosinte hybrid populations: Implications for crop evolution. *J. of Heredity* 85:191-195.

- Doebley, J. F., A. Stec and C. Gustus (1995).** Teosinte branched and the origin of maize. Evidence for epistasis and the evolution of dominance. *Genetics* 141:333-346.
- Doebley, J. F., A. Stec and L. Hubbard (1997).** The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386:485-488.
- Doebley, J. F. (2004).** The genetics of maize evolution. *Ann. Rev. Genetics* 38:37-50.
- Doebley, F. J., B. S. Gaut, and B. D. Smith (2006).** The molecular genetics of crop domestication. *Cell* 127:1309-3121.
- Dorweiler, J. E., A. Stec, J. Kermicle and J. F. Doebley (1993).** Teosinte glume architecture 1: A genetic locus controlling a key step in maize evolution. *Science* 262:233-235.
- Eubanks, M. (1995).** A cross between two maize relatives: *Tripsacum dactyloides* and *Zea diploperennis* (Poaceae). *Econ. Bot.* 49(2):172-182.
- Font-Quer, P. (1979).** Diccionario de Botánica. Labor, S. A. México. 1244 p.
- Fournier, P. (2006).** Arqueología de los caminos prehispánicos y coloniales. *Arqueología Mexicana*. Vol. XIV No. 81:26-31
- Franco, J., J. Crossa, J. Villaseñor, S. Taba and S. A. Eberhart (1999).** A two-Stage, three-way method for classifying genetic resources in multiple environments, *Crop Sci.* 39:259-267.
- Fukunaga, K., H. Jason, Y. Vigouroux, Y. Matsuoka, J. Sánchez G., K. Liu, E. S. Buckler and J. F. Doebley (2005).** Genetic diversity and population structure of teosinte. *Genetics* 169:2241-2254.
- Galinat, W. C. (1991).** Growth patterns as additional evidence of a biphyletic domestication of teosinte in the origins of corn. *Maize Cooperation Newsletter* 65:116.
- García, E. (1981).** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D.F. 252 p.
- García, H. A. (2004).** Matlatzincas. Pueblos indígenas del México contemporáneo. CDI-PNUD. México. 31 p.
- Goodman, M. M. and R. McKBird (1977).** The races of maize V. Grouping maize races on the bases of ear morphology. *Econ. Bot.* 23:471-481.
- Goodman, M. M. and E. Paterniani (1969).** The races of maize. III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.* 23:65-273.
- Guzmán, M. R. (1982).** El teocintle en Jalisco. Su distribución y ecología. Tesis Profesional. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara. 88 p.
- Harlan, J. R., J. M. J. de Wet and E. G. Price (1973).** Comparative evolution of cereals. *Evolution* 27:311-325.

Hilton, H. and B. S. Gaut (1998). Speciation and domestication in maize and its wild relatives: Evidence from the globulin-1 gene. *Genetics* 150:863-872.

Hosler, D., y A. Macferlane (1994). "Copper Sources, Metal Production and Metals Trade in Late Postclassic Mesoamerica". *Science* 273:1819-1824.

http://www.geocities.com/revista_conciencia/. (Consultado el 14/03/09).

Ittis, H. H. and J. F. Doebley (1980). Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Amer. J. Bot.* 67:994-1004.

Johnson, E. D. (2000). Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores. New York, U.S.A.

Jolliffe, I. T. (1986). Principal component analysis. Springer-Verlag. Berlin.

Kato Y., T. A. (1976). Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrad Kuntze) in relation to their origin on evolution. *Mass. Agric. Expt. Sta. Bull.* 635.

Kato Y., T. A. (1984). Chromosome morphology and the origin of the maize and its races. *Evolutionary Biology* 17:219-253.

Kato Y., T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. (2009). Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. UNAM-CONABIO. México, D.F. 116 p.

Lin, Y. R, K. F. Schertz and A. H. Paterson (1995). Comparative analysis of QTL affecting plant height and maturity across the Poaceae in reference to an interspecific sorghum population. *Genetics* 141:391-411.

Mangelsdorf, P. C. and R. G. Reeves (1939). The origin of Indian corn and its relatives. *Texas Agric. Expt. Sta. Bull.* 574.

Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. J. Sánchez G., E. Buckler and J. Doebley (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. of the Nat. Acad. of Sci.* 99:6080-6084.

McClintock, B. (1978). Significance of chromosome constitutions in tracing the origin and migration of races of maize in the Americas. *In:* David. B. Walden (ed). *Maize breeding and genetics.* John Wiley & Sons. New York, U.S.A. pp. 159-184.

Miranda C., S. (2005). El origen genético y geográfico del maíz (*Zea mays* L.) *En:* Muñoz O. A. (ed.). *Centli-Maíz. 2ª Edición.* Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. pp. 147-159.

Miranda C., S. (1977). Evolución de cuatro caracteres en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 28:73-88.

- Molina G., J. D. (1992).** Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. A.G.T. Editor S. A. México, D.F. 349 p.
- Monzoy G., S. (2006).** Nahuas de la Costa-Sierra de Michoacán. CDI-PNUD. Impresora y Encuadernadora S.A. de C.V. México, D.F. 47 p.
- Mountjoy, J. B. (1994).** Capacha. Una cultura enigmática del Occidente de México. *Arqueología mexicana* 2(9):39-42.
- Noguez, X. (2006).** Tira de la peregrinación. La migración Mexica. *Arqueología Mexicana* Vol. XIV. 81 p.
- Oliveros M., J. A. (2006).** El Opeño: Un antiguo cementerio en el Occidente de mesoamericano. *Ancient Mesoamericana* 17:251-258.
- Ortiz, R. (1985).** Efecto ambiental, interacción genotipo medio ambiente y heredabilidad de las características morfológicas usadas en la clasificación racial de maíz en la sierra del Perú. Tesis de M. C. Univ. Agraria, La Molina, Perú. 90 p.
- Perry, M. C. and M. S. C. McCintosh (1991).** Geographical patterns of variation in the USDA soybean germoplasm collection. I. Morphological traits. *Crop Sci.* 31:1350-1355.
- Piperno, D. R. and K. V. Flannery (2001).** The earliest archeological maize (*Zea mays* L) from highland México. New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98:2101-2103.
- Piperno, D. R., J. E. Moreno, J. Iriarte, I. Holst, M. Lachniet, J. Jones, A. Renare and R. Castanzo (2007).** Late Pleistocene and Holocene environmental history of the Iguala Valley, Central Balsas watershed of México. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104:11874-11881.
- Reid, L. M., J. T. Arnason, C. Nozozlillo, B. Braum and R. Hamilton (1990).** Taxonomic of Mexican landraces of maize (*Zea mays* L.) based on their resistance to european corn borer (*Ostrinia nubilalis*). *Euphytica* 46:119-131.
- Sánchez D., G. (2001).** La Costa de Michoacán. Economía y sociedad en el siglo XVI. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morevallado. Morelia, Mich. México
- Sánchez P., P. (1983).** Estudio de estabilidad de caracteres y razas de maíz de México. Tesis de M C. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Edo. de México México. 73 p.
- Sánchez G., J. J. (1989).** Relationships among the Mexican races of maize. Ph. D. Thesis. North Carolina State University. Raleigh, NC, USA. 187 p.

- Sánchez G., J. J. y J. A. Ruíz C. (1995).** Distribución del teocintle en México. *En:* Serratos, J. A., M. C. Wilcox y F. Castillo (eds.). Memoria del Foro Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: Implicaciones para el maíz transgénico. INIFAP-CIMMYT-CNBA. 21al 25 de septiembre. El Batán, Edo. de México. pp. 20-42.
- Sánchez G., J. J., T. A. Kato Y., M. Aguilar S., J. M. Hernández C., A. López R., y J. A. Ruíz C. (1998).** Distribución y caracterización del teocintle. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agropecuarias Pecuarías (INIFAP). Libro Técnico No. 2. Guadalajara, Jalisco. 149 p.
- Sánchez G., J. J. and M. M. Goodman (1992).** Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46(1):72-85.
- SAS. Institute Inc. (1993).** SAS/STAT Software: Syntax Versión 6. First edition. Cary, N.C., U.S.A. 151 p.
- Sauer C., O. (1932).** The Road to Cibola. Ibero-Americana. Vol. 3. Berkeley, Cal. U.S. A.
- Sigmon, B. and E. Vollbrecht (2010).** Evidence of selection at the ramosa1 locus during maize domestication. *Molecular Biology* 19:1296-1311.
- Sitt, M. (2010).** Razas de maíz de Michoacán. Su origen, relaciones filogenéticas y fitogeográficas. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico del Valle de Morelia. Morelia, Mich. 117 p.
- Smalley, J. and M. Blake (2003).** Sweet beninnings: Stalk sugar and the domestication of maize. *Current Antropology* 44:675-703.
- Smith, J. S. C., M. M. Goodman and R. N. Lester (1981).** Variation within teosinte. I. Numerical analysis of morphological data. *Econ. Bot.* 35:187-203.
- Smith, J. S. C., M. M. Goodman and C. W. Stuber (1984).** Variation within teosinte: III. Numerical analysis of allozyme data. *Econ. Bot.* 38:97-113.
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal. (1973).** Numerical Taxonomy. W. H. Freeman and Co. San Francisco. U.S.A. 573 p.
- Stansfield, W. D. (1977).** The Science of evolution. McMillan Publishing Co. Inc. New York, U.S.A. 614 p.
- Sokal, R. and M. Michener (1958).** A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ. Kansas Sci. Bull.* 38:1409-1438.
- Swadesh, M. (1957).** Términos de parentesco comunes entre Tarasco y Zuñi, México. Instituto de Investigaciones Históricas. UNAM. Serie antropológica No 3. 39 p.
- Taba, S., S. E. Pineda and J. Crossa (1994).** Forming core subsets from Tuxpeño race complex. *In:* S. Taba (ed.). The CIMMYT maize germoplasm bank: Genetic resource preservation, regeneration, maintenance, and use. CIMMYT Maize Program Special Report, México, D. F. México. pp.182-207

- Wald, A. (1944).** On a statistical problem arising in the classification of an individual into one of two groups. *Ann. of Math. Statistics* 15:145-162.
- Wang , H. T., B. L. Nussbaum-Wogler, Q. Zhao and Y. Vogouroux (2005).** The origin of the naked grains of maize. *Nature* 436:714-719.
- Ward, J. H. Jr. (1963).** Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Statist. Assoc.* 58:236-244.
- Welch, B. L. (1939).** Note on discriminant functions. *Biometrika* 31:218-220
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts, E. Hernández, X., en colaboración con P.C. Mangelscorf (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. 236 p.
- White, S. and J. Doebley (1998).** Of genes and genomes and the origin of maize. *Trends in genetics* 14(8):327-332
- Wiley, E. O. (1981).** *Phylogenetics; The theory and practice of phylogenetics and systematics.* John Wiley, New York. U.S.A.
- www.biodiversidad.gob.mx/genes/origen.div.html (consultado el 15/03/2011).
- Wilkes, H. G. (1967).** Teosinte: the closest relative of maize. Bussey Inst., Harvard University. U.S.A. 159 p.
- Wilkes, H. G. (1995).** El teosintle en México. Panorama retrospectivo y análisis personal. *En: Serratos, J. A., M. C. Wilcox y F. Castillo G. (eds.). Memoria del foro flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: Implicaciones para el maíz transgénico.* INIFAP-CIMMYT-CNBA. 21 al 25 de septiembre. El Batán, Edo. de México. pp. 11-19.
- Yee, E., K. K. Kidwell, G. R. Sills and T. A. Lumpkin (1999).** Diversity among selected *vigna andularis* (Azuki) accessions on the basis of RAPD and AFLP markers. *Crop Sci.* 39:268-275.
- Zizumbo V., D. y P. C. García M. (2008).** El origen de la agricultura, la domesticación de plantas y el establecimiento de corredores biológicos-culturales en Mesoamérica. *Geografía Agrícola* 41:85-113.

*Razas de Teocientle en Michoacán. Su origen,
distribución y caracterización morfológica.*

Esta publicación es parte del programa de maíz
Se imprimieron 500 ejemplares en julio de 2012,
En Agencia 3, Revolución 456, Col. Centro, Morelia,
Michoacán. CP 58070. Se utilizó papel couche
de 150 g en interiores y de 250 g en la portada,
la tipografía es de la familia Myriad Pro.

