

## VALIDACIÓN EMPÍRICA DE LA TEORÍA MULTICÉNTRICA DEL ORIGEN Y DIVERSIDAD DEL MAÍZ EN MÉXICO

### EMPIRICAL VALIDATION OF THE MULTICENTRIC THEORY ON THE ORIGIN AND DIVERSITY OF MAIZE IN MEXICO

Marco A. Caballero-García<sup>1\*</sup>, Leobigildo Córdova-Téllez<sup>2</sup>  
y Agustín de J. López-Herrera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Economía, Escuela Bancaria y Comercial, Campus Ciudad de México, México. <sup>2</sup>Colegio de Posgraduados, PREGEP-Producción de Semillas, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

\*Autor de correspondencia (marco\_a\_caballero@yahoo.com.mx)

#### RESUMEN

Mesoamérica es considerada el centro de origen y diversidad del maíz (*Zea mays* L.). La teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz define cinco centros de origen-domesticación, a partir de los cuales se conformaron cuatro macro regiones o centros de diversificación primaria de este cereal, de donde fueron emergiendo las diversas razas y la concentración de su diversidad. Un centro de diversidad genética se define como aquella área geográfica donde existe diversidad morfológica, genética, o ambas, para una determinada especie, que se caracteriza por albergar poblaciones de los parientes silvestres y que constituye una reserva genética. El objetivo de este estudio fue validar de manera empírica las regiones geográficas de México que conforman con la definición de centro de diversidad genética para el caso del maíz. Se utilizó análisis espacial para examinar la diversidad y distribución de 24,126 colectas de maíz nativo y 1,106 registros de parientes silvestres (Teosinte: 692 y *Tripsacum*: 414) colectadas durante el periodo 1926-2014, disponibles en los bancos de germoplasma y herbarios de las instituciones de investigación y enseñanza agrícola nacionales e internacionales ubicados en México y, mediante el uso de sistemas de información geográfica y modelación. En apego a los criterios y definiciones considerados en la teoría multicéntrica de origen y diversidad del maíz, se definieron y validaron empíricamente 19 regiones geográficas que se consideran centros de diversidad genética del maíz nativo de México.

**Palabras clave:** *Zea mays*, centros de diversidad genética, origen del maíz, recursos fitogenéticos.

#### SUMMARY

Mesoamerica is considered as the center of origin and diversity of maize (*Zea mays* L.). The multicentric theory on the origin and diversity of maize defines five centers of origin-domestication, from which four macro regions or primary centers of diversification of this cereal were conformed, from which the different races and the concentration of diversity emerged. A center of genetic diversity is defined as the geographical area where there is morphological, genetic diversity, or both, for a certain species, characterized by harboring populations of wild relatives and constituting a genetic reserve. The objective of this study was to empirically validate the geographic regions of Mexico that conform to the definition of a center of genetic diversity for maize. Spatial analysis was used to examine the diversity and distribution of 24,126 accessions of native maize and 1,106 records of wild relatives (Teosinte: 692 and *Tripsacum*: 414) collected during the period 1926-2014, available

at germplasm banks and herbaria of national and international agricultural research and education institutions located in Mexico and, through the use of geographic information systems and modeling. In accordance with the criteria and definitions considered in the multicentric theory on maize origin and diversity, 19 geographic regions were empirically defined and validated to be considered as centers of genetic diversity of maize native to Mexico.

**Index words:** *Zea mays*, centers of genetic diversity of maize, origin of maize, plant genetic resources.

#### INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XVI el espacio que hoy ocupa México estaba habitado por sociedades con sistemas políticos, sociales y económicos muy diversos (Hausberger, 2010). El desarrollo de estas culturas se vio favorecido por las variadas condiciones naturales existentes en la región que ofrecían a éstas la disponibilidad de una gran diversidad de plantas nativas, permitiendo el uso y domesticación de un amplio número de especies vegetales, entre ellas el maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), chile (*Capsicum annuum* L.), calabaza (*Cucurbita* spp.) y otras plantas, que en conjunto integraron el sistema de producción tradicional denominado milpa (Sanders y Marino, 1973).

Los estudios de De Candolle, realizados en el siglo XVII mostraron que la diversidad de plantas domesticadas creada durante cientos o miles de años no se encuentra distribuida de manera homogénea en el planeta, aspecto que ya en el siglo XX Nikolai Vavilov abordó y clasificó en ocho centros de origen y diversidad de las plantas cultivadas, entre los que se encuentra Mesoamérica como centro de origen y diversidad de maíz, frijol, calabaza y otros (Boege, 2009).

Actualmente, el maíz se cultiva en casi todas las regiones agrícolas de México, y está profundamente

arraigado en todo el territorio nacional, existen registros de 600 formas de preparar platillos y bebidas en México a base de este cereal (Oseguera y Ortega, 2016), entre los que se encuentran la elaboración de tortillas (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2018) y tamales para la alimentación, así como la producción de forrajes y la obtención de aceite e insumos para la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones, además de su uso en la elaboración de artesanías (Sangermán-Jarquín *et al.*, 2018). A nivel mundial, el maíz se cultiva en 163 países, que en su mayoría utilizan semillas híbridas o genéticamente modificadas (transgénicas).

La relevancia que tiene México como centro de origen y diversificación del maíz y sus parientes silvestres, por ser reservorios genéticos activos, es de gran importancia hoy en día, y si bien es motivo de orgullo nacional, también significa una gran responsabilidad de cara al acelerado proceso de erosión genética que se ha experimentado a nivel global, producto del desarrollo de nuevas variedades semillas (híbridas y transgénicas), el desuso de las variedades locales por su supuesta baja productividad y competitividad y por la pérdida de muchos productores tradicionales que cultivaban variedades de maíz nativo.

Sobre los centros de origen y diversidad del maíz se han realizado diversos estudios a lo largo de varias décadas; estas investigaciones señalan que el maíz apareció entre los años 9000 y 5000 AC (Turrent y Serratos, 2004). Kato *et al.* (2009), con base en los resultados de un amplio estudio de la morfología de los cromosomas paquiténicos

de los maíces y sus parientes silvestres (*Teocintle* y *Tripsacum*), desarrollaron una teoría que propone que el maíz se originó y fue domesticado en varias regiones entre México y Guatemala; dicha teoría fue denominada como teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz, la cual define cinco centros de origen-domesticación: 1) Mesa central de México, 2) región de altura media en los estados de Morelos, México, Guerrero y sus alrededores, 3) región centro-norte de Oaxaca; 4) el territorio comprendido entre los estados de Oaxaca y Chiapas y 5) región alta de Guatemala.

De estos centros de origen-diversificación, se propone que sus respectivos complejos de nudos cromosómicos migraron a diferentes partes del norte, centro y sur de México a lo largo de rutas diferentes y definidas conforme se incrementó su cultivo en su lugar de origen y domesticación. De esta forma hubo regiones en que convergieron las rutas de migración de dos o más complejos de nudos cromosómicos, de cuya hibridación y selección posterior surgieron nuevas razas de maíz. Se supone que entre mayor fue el número de complejos que originalmente se congregaron en una región dada, mayor fue el número de razas que emergieron. De estas rutas de migración se conformaron cuatro macro regiones o centros de diversificación primaria del maíz: I) Mesa Central, II) Oaxaca, Chiapas y Guatemala, III) Occidente de México y IV) Norte, de donde fueron emergiendo las diversas razas y se presentó una concentración de la diversidad del maíz, la cual se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Mapa de México con las localizaciones de los centros de origen-domesticación y los centros de diversificación primaria del maíz. Tomada de Kato *et al.* (2009).

La Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) establece criterios para la determinación de los centros de origen y de diversidad genética de los cultivos que México es considerado centro de origen y diversidad genética, para lo cual establece las siguientes definiciones:

**Centro de origen:** área geográfica del territorio nacional donde se llevó a cabo el proceso de domesticación de una especie determinada.

**Centro de diversidad genética:** área geográfica del territorio nacional donde existe diversidad morfológica y genética, o ambas, de determinadas especies, que se caracteriza por albergar poblaciones de los parientes silvestres y que constituye una reserva genética (Secretaría de Salud, 2005).

En este contexto, las razas de maíces nativas de México, al igual que sus parientes silvestres teocintles (género *Zea*) y las especies del género *Tripsacum*, representan bienes públicos estratégicos para el país, toda vez que cuentan con un valor intrínseco resultado del cultivo y el manejo del maíz por parte de los agricultores a través de varias generaciones, quienes han mejorado, custodiado, conservado y adaptado las diversas razas y las variedades locales de maíz a diversas condiciones agroecológicas, sociales y culturales.

Tomando en consideración lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue validar empíricamente la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz y actualizar las macro regiones o centros de diversificación primaria del maíz, mediante el uso de sistemas de información geográfica y modelación, con la información existente de las colectas de maíz y sus parientes silvestres recolectadas y registradas durante el periodo 1926-2014, que se encuentra disponible en los bancos de germoplasma y herbarios de instituciones nacionales e internacionales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Base de datos de colectas de maíz nativo de México y sus parientes silvestres

Se integró una base de datos con el registro y datos pasaporte de 44,090 colectas de maíz nativo y 1220 colectas de sus parientes silvestres: 693 de teocintle y 527 de *Tripsacum*. Se eliminaron los registros repetidos, por lo que finalmente la base de datos de trabajo quedó constituida por 24,126 registros de germoplasma de maíz, 692 de teocintle y 414 de *Tripsacum* (Cuadro 1), con coordenadas para su georreferenciación. Esta información

tiene el limitante de que las colectas se realizaron durante varios años por investigadores de diversas instituciones y no de manera sistemática, lo cual originó que algunas razas cuenten con poca representatividad (menor a 20 registros); sin embargo, se trata de la base de datos más completa y actualizada del país hasta la fecha, ya que conjunta toda la información de las instituciones nacionales e internacionales más relevantes y representativas que cuentan con registros de colectas históricas y recientes de maíz nativo de México y sus parientes silvestres, como el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG). De igual manera, se actualizó el registro de número de razas de maíz que han sido identificadas y documentadas en México en los últimos años, lo que permitió proveer de elementos científicos basados en información actualizada, para la delimitación de las regiones geográficas que se consideran centros de diversidad genética del maíz en México.

### Determinación de regiones de riqueza genética

La metodología empleada para la determinación de las zonas de riqueza genética se basó en el análisis espacial de la diversidad y distribución de las colectas de maíces nativos agrupadas en la raza correspondiente y sus parientes silvestres, estos datos se modelaron en el programa Diva Gis (Hijmans *et al.*, 2012), el cual es un sistema de información geográfica para el análisis de datos de distribución de especies que permite analizar la distribución con el objeto de dilucidar patrones geográficos, ecológicos, y genéticos, por lo que se pueden crear mapas de distribución.

Con el módulo para riqueza genética, el mapa del país se dividió en píxeles de 5 min, lo que representa un área de 9 × 9 km y se ajusta a lo recomendado por Scheldeman y van Zonneveld (2010). El programa toma en cuenta los registros para cada una de las razas y agrupa las observaciones en intervalos de clase por el número de observaciones presentes; para fines de este trabajo se tomaron los tres intervalos de clase con mayor número de observaciones.

Para el caso de las razas con poca representatividad (menor a 20 registros), para determinar la zona de reserva genética de la colecta, se generaron zonas de amortiguamiento de 10 km de radio, lo cual es recomendado por Viner y Arritt (2010), al considerar que existe alta probabilidad de que el material colectado se

**Cuadro 1. Colectas de maíz nativo, teocintle y *Tripsacum* por entidad federativa en 2014.**

Entidad	Maíz		Teocintle		<i>Tripsacum</i>	
	No. de registros	Porcentaje	No. de registros	Porcentaje	No. de registros	Porcentaje
Chiapas	4248	17.6	-	-	48	11.6
Oaxaca	3284	13.6	3	0.4	24	5.8
Michoacán	1572	6.5	211	30.5	2	0.5
Veracruz	1410	5.8	-	-	3	0.7
Puebla	1289	5.3	31	4.5	-	-
Edo. de México	1222	5.1	187	27.0	21	5.1
Jalisco	1097	4.5	128	18.5	45	10.9
Chihuahua	1084	4.5	7	1.0	19	4.6
Tlaxcala	958	4.0	1	0.1	-	-
Guerrero	941	3.9	91	13.2	147	35.5
Guanajuato	698	2.9	13	1.9	-	-
Hidalgo	661	2.7	-	-	-	-
Nayarit	549	2.3	9	1.3	45	10.9
Morelos	540	2.2	4	0.6	4	1.0
San Luis Potosí	535	2.2	-	-	8	1.9
Tamaulipas	497	2.1	-	-	10	2.4
Zacatecas	470	1.9	-	-	-	-
Yucatán	449	1.9	-	-	-	-
Durango	416	1.7	6	0.9	10	2.4
Sinaloa	416	1.7	-	-	11	2.7
Nuevo León	279	1.2	-	-	-	-
Sonora	242	1.0	-	-	5	1.2
Coahuila	230	1.0	-	-	-	-
Quintana Roo	224	0.9	-	-	-	-
Campeche	208	0.9	-	-	-	-
Querétaro	178	0.7	-	-	7	1.7
Aguascalientes	147	0.6	-	-	-	-
Colima	98	0.4	1	0.1	5	1.2
Ciudad de México	86	0.4	-	-	-	-
Tabasco	72	0.3	-	-	-	-
Baja California Sur	24	0.1	-	-	-	-
Baja California	2	0.0	-	-	-	-
Total	24,126	100	692	100	414	100

-: No existe información. Fuente: Elaboración propia con información de las colectas de maíz nativo de México y sus parientes silvestres disponible en los centros de germoplasma de SINAREFI, INIFAP, CONABIO, CNRG y CIMMYT.

encuentre distribuido en esa área tomando en cuenta el bajo número de colectas realizadas en esas regiones.

### **Determinación de centros de diversificación primaria del maíz**

Para la determinación de los centros de diversificación primaria del maíz se observó lo establecido en el Artículo 87 de la LBOGM, que menciona que se consideran centros de diversidad genética las regiones que actualmente albergan poblaciones de los parientes silvestres del maíz, que incluyen diferentes especies, subespecies, razas o variedades del mismo, las cuales constituyen una reserva genética del material y las regiones geográficas donde el maíz fue domesticado, siempre y cuando estas regiones sean centros de diversidad genética.

En este contexto, una vez generadas las zonas de riqueza genética para cada una de las razas, se realizó una unión de las zonas de riqueza genética y éstas, a su vez, se intersecaron con las zonas geográficas con presencia de parientes silvestres de maíz, lo que dio como resultado las zonas que aquí se propone sean consideradas como centros de diversidad genética (actualización de centros de diversificación primaria del maíz).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Determinación del número actual de razas identificadas en México**

Del análisis del Cuadro 1 se desprende que actualmente los estados con mayor número de colectas son Chiapas con 4248 registros, seguido de Oaxaca con 3284; los estados con más de 1000 colectas son Michoacán, Veracruz, Puebla, Estado de México, Jalisco y Chihuahua; mientras que los estados con menos de 100 colectas son Colima, Ciudad de México, Tabasco, Baja California Sur y Baja California.

La base de datos reporta la existencia de 68 razas de maíz en 2014, con diferencias considerables en cuanto a su representación en los bancos de germoplasma, en el que se encontró que la raza Tuxpeño es la que contiene el mayor número de colectas, con 14.06 % del total de registros documentados, seguida de las razas Cónico (8.18 %), Comiteco (5.36 %), Cónico norteño (4.99 %) y Olotillo (4.67 %) con más de mil colectas; en tanto que las razas Amarillo, Argentino, Negro de Chimaltenango, Quicheño y Uruapeño sólo presentan una colecta (Cuadro 2).

Esta actualización de las razas nativas de México

representa cuatro razas más que las 64 razas que se reportaron para México en el proyecto global de maíces nativos desarrollado durante los años 2006 a 2010 (CONABIO, 2011) y 18 razas más que las 50 razas referidas por Serratos (2009) como nativas reconocidas en el territorio nacional. Estas razas se agrupan a su vez en grupos o complejos raciales, asociadas a una distribución geográfica y climática definida y con evolución común (Goodman y Bird, 1977; Sánchez y Goodman, 1992). Estos resultados admiten validar el postulado de la teoría multicéntrica referido por Kato *et al.* (2009) en el sentido de que a partir del cultivo, hibridación y selección de los diferentes maíces nativos se tiene un proceso continuo e infinito, a través del cual se van generando nuevas razas y nuevos centros de diversificación primaria del maíz.

La ubicación geográfica de las colectas referidas en el Cuadro 1, tanto para las razas (24,126 registros) como para sus parientes silvestres (1106 registros), se muestra en la Figura 2.

### **Determinación de regiones de riqueza genética estratégica**

La metodología para la determinación de zonas de riqueza genética se basó en el análisis espacial de diversidad y distribución de las colectas de cada una de las 68 razas identificadas; estos datos se modelaron con el programa Diva Gis, el cual agrupa las observaciones en intervalos de clase por el número de observaciones presentes; para el caso de las 51 razas que tienen documentadas más de 20 colectas se tomaron los tres intervalos de clase con mayor concentración de las mismas, lo que permitió generar las zonas de alta concentración de colectas para cada una de las razas de maíz identificadas. A manera de ejemplo, como se muestra en la Figura 3 para la raza Ancho, la mayor concentración de colectas define un polígono que concentra 173 colectas de dicha raza de 333 registros totales (52 %).

En el caso de las 17 razas con menos de 20 colectas se les creó una franja de amortiguamiento de 10 km de radio, considerando que existe alta probabilidad de que el material colectado se encuentre presente en esa área, como se muestra en la Figura 4.

Finalmente, en la Figura 5 se presentan las regiones de riqueza genética del maíz nativo de México, producto de la unión de las zonas de riqueza genética de las razas de maíz con más de 20 colectas y las franjas de amortiguamiento de 10 km para las 17 razas con menos de 20 colectas.

**Cuadro 2. Razas nativas de maíz de México y número de colectas existentes en los bancos de germoplasma de México en el año 2014.**

Raza	Núm. de colectas	Raza	Núm. de colectas	Raza	Núm. de colectas
CNI	5275	Zapalote Chico	144	Serrano Mixe	39
Tuxpeño	3391	Nal-tel	139	Bofo	37
Cónico	1974	Conejo	129	Dulcillo del Noroeste	35
Comiteco	1292	Dzit Bacal	124	Chapalote	34
Cónico Norteño	1203	Coscomatepec	118	Compl. Serrano de Jalisco	22
Olotillo	1126	Azul	101	Motozinteco	13
Celaya	939	Reventador	97	Mixeño	9
Chalqueño	630	Onaveño	86	Mountain Yellow	8
Tabloncillo	622	Zapalote Grande	86	Negrilo	8
Olotón	597	Zamorano Amarillo	84	Palomero de Chihuahua	6
Elotes Cónicos	570	Elotero de Sinaloa	82	Choapaneco	5
Bolita	534	Gordo	71	Elotes Chalqueños	4
Tepecintle	528	Apachito	68	Harinoso de Ocho	4
Ratón	444	Cacahuacintle	66	Mixteco	4
Elotes Occidentales	404	Cubano Amarillo	63	Clavillo	3
Mushito	380	Mushito Michoacán	56	Cristalino Perla	3
Ancho	333	Palomero Toluqueño	53	Palomero de Jalisco	3
Vandefío	331	Dulce	51	Amarillo	1
Pepitilla	325	Tehua	49	Argentino	1
Arrocillo Amarillo	317	Blando	46	Negro de Chimaltenango	1
Cristalino de Chih.	312	Tablilla de Ocho	45	Quicheño	1
Tuxpeño Norteño	306	Chiquito	43	Uruapeño	1
Tabloncillo Perla	189	Jala	40	TOTAL	24,126

CNI: Colectas no identificadas a nivel racial. Fuente: Elaboración propia con información de las colectas de maíz nativo de México disponible en los centros de germoplasma de SINAREFI, INIFAP, CONABIO, CNRG y CIMMYT.

### Determinación de centros de diversificación primaria del maíz

Considerando las condiciones establecidas para la definición de centros de diversidad genética: 1) diversidad morfológica, genética, o ambas; 2) presencia de parientes silvestres y 3) reserva genética, se realizó la intersección de las zonas con presencia de parientes silvestres del maíz con las zonas de riqueza genética de las razas nativas de México para obtener los polígonos que se proponen como centros de diversidad de maíz, lo que permitió determinar 19 centros de diversidad genética, que cubren 100 % de las 68 razas documentadas. Para cada raza se cubre al menos 80 % de las colectas: 33 razas 100 %, 17 razas al menos 90 %, 22 razas al menos 80 %, que representan en promedio 86 % del total de colectas, como se muestra en la Figura 6. Estos 19 centros de diversidad de maíz nativo

de México incluyen las cuatro macro regiones o centros de diversificación primaria del maíz de México definidos por la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz.

### CONCLUSIONES

El estudio permitió actualizar a 68 el número de razas nativas de México que han sido identificadas y documentadas por diversos investigadores durante el periodo comprendido de 1926 a 2014. Los centros de diversidad genética identificados permiten validar la teoría multicéntrica cuyo postulado señala que a partir del cultivo, hibridación y selección de los diferentes maíces nativos se tiene un proceso continuo e infinito, a través del cual se van generando nuevas razas y nuevos centros de diversificación primaria del maíz. En México se debe seguir realizando colectas de maíz nativo de manera

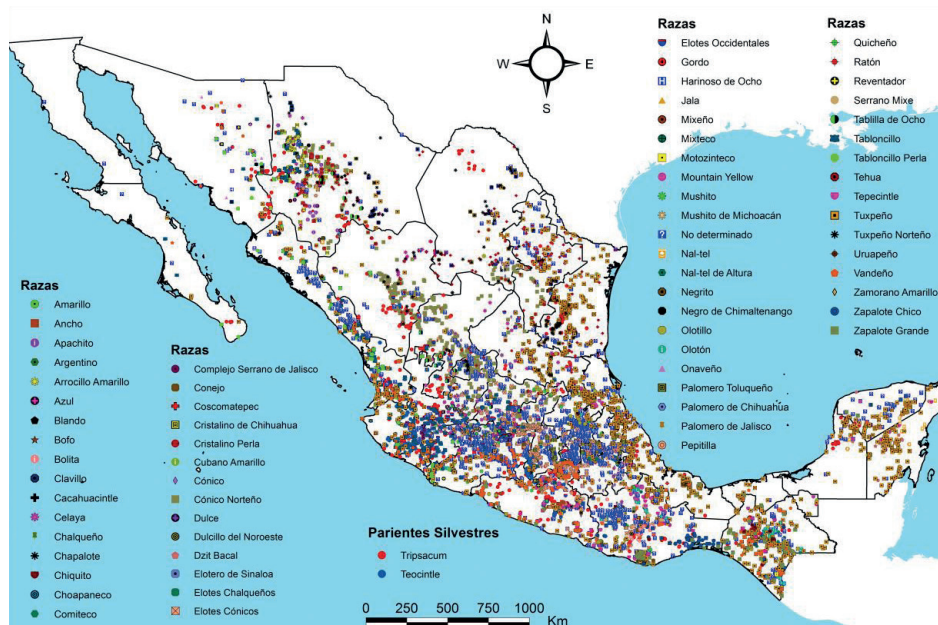


Figura 2. Distribución de las razas de maíz nativas de México y sus parientes silvestres. Fuente: Elaboración propia con información de las colectas de maíz nativo de México y sus parientes silvestres disponible en los centros de germoplasma de SINAREFI, INIFAP, CONABIO, CNRG y CIMMYT.



Figura 3. Zona de riqueza genética de la raza Ancho. Fuente: Elaboración propia con información de las colectas de maíz nativo de México y sus parientes silvestres disponible en los centros de germoplasma de SINAREFI, INIFAP, CONABIO, CNRG y CIMMYT.

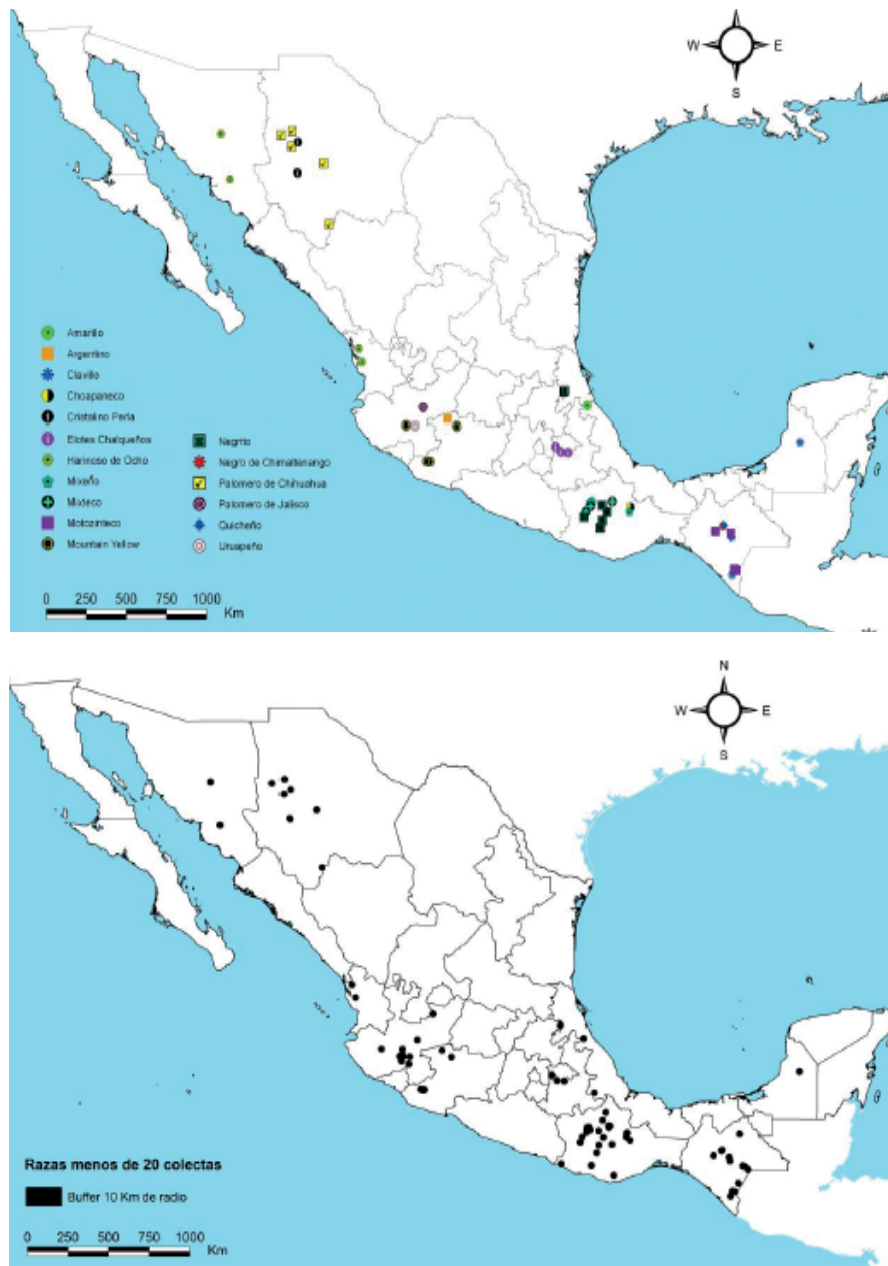


Figura 4. Razas con menos de 20 colectas con franjas de amortiguamiento de 10 km de radio. Fuente: Elaboración propia con información de las colectas de maíz nativo de México y sus parientes silvestres disponible en los centros de germoplasma de SINAREFI, INIFAP, CONABIO, CNRG y CIMMYT.

dirigida en regiones específicas que permitan identificar y documentar las razas nuevas que se vayan generando a través del tiempo, así como sus regiones de diversidad.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Boege E. (2009) Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz. *Ciencias* 92-93:18-28.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2011) Proyecto global de maíces nativos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. <https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html> (Noviembre, 2109).
- Goodman M. M. and R. M. Bird (1977) The races of maize IV: tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31:204-221, <https://doi.org/10.1007/BF02866591>
- Hausberger B. (2010) La economía novohispana, 1519-1760. In: *Historia Económica General de México: de la Colonia a Nuestros Días*. S. K. Ficker (coord.). El Colegio de México, Secretaría de Economía. México, D.F. pp:41-82, <https://doi.org/10.2307/j.ctv47wf39.6>
- Hijmans R. J., L. Guarino and P. Mathur (2012) DIVA-GIS Version 7.5. Manual. LizardTech, Inc. and University of California. Davis,





Figura 5. Zonas de riqueza genética de las razas nativas de México. Fuente: Elaboración propia con información de las colectas de maíz nativo de México y sus parientes silvestres disponible en los centros de germoplasma de SINAREFI, INIFAP, CONABIO, CNRG y CIMMYT.



Figura 6. Centros de diversidad genética de maíz nativo de México con colectas realizadas de 1926 a 2014. Fuente: Elaboración propia con información de las colectas de maíz nativo de México y sus parientes silvestres disponible en los centros de germoplasma de SINAREFI, INIFAP, CONABIO, CNRG y CIMMYT.

California. 71 p.  
 Kato Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. and R. A. Bye B. (2009) Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.  
 Oseguera P. D. y R. Ortega P. (2016) Gente de maíz. Historia y diversidad en la cocina mexicana del maíz. In: El Maíz Nativo en México. Una Aproximación Crítica desde los Estudios Rurales. López M. I. e I. Vizcarra B. (coords.). Universidad Autónoma Metropolitana.

Lerma, Estado de México. pp:113-136.  
 Sánchez G., J. J. and M. M. Goodman (1992) Relationships among the Mexican races of maize. *Economic Botany* 46:72-85, <https://doi.org/10.1007/BF02985256>  
 Sanders W. T. y J. Marino (1973) Prehistoria del Nuevo Mundo. Trad. E. Muñoz L. Labor. Barcelona, España. 191 p.  
 Sangermán-Jarquín D. M., M. de la O-Olán, A. J. Gámez-Vázquez, A. Navarro-Bravo, M. Á. Ávila-Perches y R. Schwentesius-Rindermann (2018) Etnografía y prevalencia de maíces nativos en San Juan Ixtenco, Tlaxcala, con énfasis en maíz ajo (*Zea mays* var. *tunicata* A. St.

- Hil.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 41: 451-459.
- Scheldeman X. and M. van Zonneveld (2010)** Training Manual on Spatial Analysis of Plant Diversity and Distribution. Bioversity International. Rome, Italy. 179 p.
- Secretaría de Salud (2005)** Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 18 marzo 2005. pp:54-85.
- Serratos H. J. A. (2009)** El Origen y la Diversidad del Maíz en el Continente Americano. Greenpeace México. México, D.F. 33 p.
- Turrent A. and J. A. Serratos (2004)** Context and background on maize and its wild relatives in Mexico. *In: Maize and Biodiversity: The effects of Transgenic Maize in Mexico*. Commission for Environmental Cooperation of North America. Montreal, Canada. pp:1-55.
- Vázquez-Carrillo M. G., R. E. Preciado-Ortíz, D. Santiago-Ramos, N. Palacios-Rojas, A. Terrón I. y A. Hernández-Calette (2018)** Estabilidad del rendimiento y calidad de grano y tortilla de nuevos híbridos de maíz con valor agregado para el subtrópico de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41: 509-518.
- Viner B. J. and R. W. Arritt (2010)** Increased pollen viability resulting from transport to the upper boundary layer. *Field Crops Research* 119:195-200, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.008>