



El origen y la diversidad del maíz en el continente americano

José Antonio Serratos Hernández
Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

GREENPEACE

www.greenpeace.org.mx

Este documento fue elaborado por
el Dr. José Antonio Serratos Hernández,
investigador, coordinador, académico,
de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México
para Greenpeace México.

Enero de 2009

Contenido

Introducción	2
<hr/>	
El centro de origen del maíz	4
Historia de la investigación del origen del maíz. 1700 - 1990	5
Historia de la investigación del origen del maíz. 1990 - al presente	10
Estado del conocimiento del centro de origen y domesticación del maíz	12
<hr/>	
La diversidad del maíz en el continente americano	
El estudio de la diversidad del maíz. 1940 - 1980	14
El estudio de la diversidad del maíz. 1990 - al presente	18
<hr/>	
La migración del maíz y su diversificación en América	22
<hr/>	
Los pueblos y las culturas de América y la diversidad del maíz	24
<hr/>	
Análisis y perspectivas de la diversidad del maíz en el continente americano	29
<hr/>	
Referencias	31

Introducción

El maíz es el cereal de los pueblos y culturas del continente americano. Las más antiguas civilizaciones de América –desde los olmecas y teotihuacanos en Mesoamérica, hasta los incas y quechuas en la región andina de Sudamérica– estuvieron acompañadas en su desarrollo por esta planta. Esta asociación entre cultura y agricultura del maíz ha motivado a científicos y humanistas a preguntarse: ¿cuál es el origen de este cereal? ¿cómo fue su evolución, una vez que los diferentes grupos humanos lo adoptaron y cultivaron para su provecho? Estas preguntas los han llevado a explorar el pasado y en la actualidad, junto al desarrollo científico y tecnológico, han podido descifrar varios de los enigmas que rodean la domesticación de este cultivo.

Aunque no se han resuelto por completo todos los detalles que permitan explicar su origen y domesticación, los científicos tienen un consenso: el ancestro directo del maíz es el teocintle. Sin embargo, durante más de 70 años, antes de llegar a esa conclusión se generó un riquísimo debate que contribuyó al avance del conocimiento en muchas áreas del quehacer científico. Tan es así que algunos de los más grandes científicos del siglo XX han sido estudiosos del maíz, de su origen y su diversificación. Por ejemplo, en 1983 la investigadora estadounidense Bárbara McClintock recibió el Premio Nobel en Fisiología, por el descubrimiento de los elementos genéticos móviles¹ en los cromosomas del maíz.

El maíz es el cereal que más importancia ha tenido en varios sectores de la economía a escala mundial durante el siglo XX y en los inicios del XXI. En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. Por el contrario, en algunos países de América Latina y, cada vez más en países africanos, un gran porcentaje del maíz que se produce o importa se destina al consumo humano. En este sentido, el maíz ha sido y sigue siendo un factor de sobrevivencia para los campesinos e indígenas que habitan en la mayoría de los países del continente americano. Resulta paradójico que los pobladores de las comunidades marginadas sean los guardianes de la diversidad del maíz, ya que cada vez se destinan menos recursos económicos a esas comunidades. Esta situación pone en riesgo esas valiosas semillas porque los estudios e investigaciones realizados durante años, desde diversas disciplinas científicas y humanísticas, comprueban que el papel del campesino es importantísimo para la conservación y diversificación del maíz. Empero, los programas de investigación y desarrollo para la conservación *in situ* del maíz son muy restringidos y no se han generalizado a regiones importantes con gran concentración de grupos étnicos y campesinos.

En la actualidad, la conservación en bancos de germoplasma de maíz o conservación *ex situ* es la estrategia dominante porque está

ligada a la trayectoria tecnológica de los países desarrollados y además porque las restricciones financieras de muchos países menos desarrollados, no permiten la implementación de la conservación *in situ*. Se prevé que en pocos años, el descuido y la falta de atención a las comunidades rurales en las que se encuentra el mayor porcentaje del germoplasma nativo, podría impactar negativamente la diversidad del maíz. También se anticipa que las políticas públicas que promueven tecnologías intensivas en capital y que expulsan el trabajo hacia las zonas urbanas o el extranjero, determinarán la tasa a la que se estarían extinguiendo los recursos genéticos del maíz.

El riesgo de perder la diversidad del maíz es muy alto. Las condiciones económicas de marginación y pobreza que enfrentan los campesinos, como ya es evidente en muchas regiones de América, llevarán a la extinción generalizada de la diversidad del maíz. Una manera de aliviar esta situación es revalorar el cultivo a través del conocimiento de su origen y diversificación en el continente americano. El propósito de este trabajo va en ese sentido, recuperar la historia de la investigación científica y aspectos socio-culturales del origen y la diversidad del maíz nativo para que los pueblos de América rescaten a la planta emblemática del continente americano y su cultura.

¹A estos elementos genéticos se les conoce también como elementos transportables o "genes saltarines" por su capacidad de "saltar" de un lado a otro de los cromosomas.



El centro de origen del maíz

Uno de los más grandes genetistas del siglo XX y estudioso de las plantas cultivadas, Nikolai Vavilov (1887–1943, <http://www.vir.nw.ru>), consolidó el concepto de centro de origen. Es gracias a sus estudios que se conocen y exploran las ocho grandes regiones del mundo en las que se originaron las plantas cultivadas. Más que teoría, es el trabajo práctico y la exploración biogeográfica lo que constituye el legado de Vavilov a la humanidad. Este legado se conserva en uno de los primeros bancos de germoplasma de las especies cultivadas del mundo, construido a principios del siglo XX, en Leningrado.

Se ha definido como “centro de origen” de plantas cultivadas a una zona geográfica en donde se

encuentra un máximo de diversidad del cultivo y en el que coexisten o coexistieron sus parientes silvestres (Figura 1). En particular, Vavilov toma en cuenta varios aspectos para definir a los centros de origen de los cultivos agrícolas: 1) se trata de áreas geográficas en las que éstos se siguen cultivando; 2) se asocian a grandes extensiones de territorio y; 3) “los focos primarios del origen de los cultivos se encuentran en las regiones montañosas”. Según las observaciones de Vavilov, el origen del maíz junto con aproximadamente 49 especies más, está en el Centro Primario VII (Figura 1) que se localiza desde el centro-sur de México, hasta la mitad del territorio de Centroamérica. Desde sus primeras exploraciones en México, para Vavilov fue evidente

que *Euchlaena*, género en el que antiguamente se clasificó al teocintle, era el pariente silvestre más cercano del maíz.

Junto con el maíz, el teocintle se describió desde tiempos de la Colonia en México y Francisco Hernández Boncalo (1515/1517-1578) es el primer informante de esta planta hacia 1570. El botánico y médico español Hernández Boncalo realizó expediciones para estudiar la flora de México y escribió varios documentos sobre las plantas del Nuevo Mundo y su herbolaria medicinal. Muchos de sus escritos se perdieron en el incendio de El Escorial, en 1671, pero se fueron recuperando gracias a las copias que él había guardado en diferentes obras de botánica y medicina.

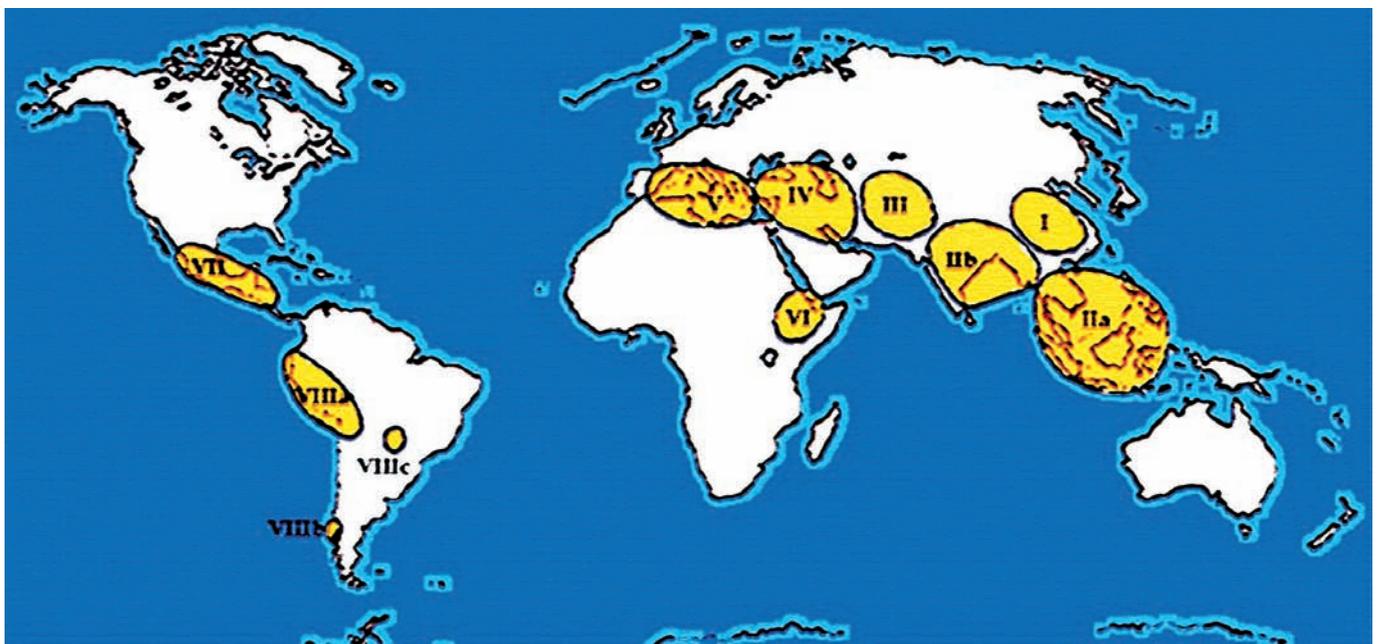


Figura 1. Localización de los centros de origen/domesticación de las plantas cultivadas, según Vavilov. Adaptado por Antonio Serratos de: <http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=2718>

Historia de la investigación del origen del maíz

1700 - 1990

Posterior a las primeras referencias botánicas de Francisco Hernández en la época de Felipe II en España, y de la primera dispersión del maíz en Europa hacia el siglo XVI, los estudios del maíz y el teocintle continuaron hasta siglos después.

El maíz, desde el Sistema Natural de Linneo (1748), se clasificó dentro del género *Zea* y no había sufrido modificaciones importantes hasta el siglo XX cuando se integró el teocintle a este género. Otros estudios taxonómicos y botánicos realizados a finales del siglo XIX y principios del XX recapitulan la relación y posible evolución del teocintle al maíz. Los estudios pioneros de la taxonomía del teocintle los realiza Schrader (1833) quien lo clasifica como *Euchlaena mexicana*. Según George Beadle², en 1875 el botánico Ascherson ya considera que *Euchlaena* es en realidad el género *Zea* pero le parecía muy difícil explicar cómo “una simple

espiga de teocintle pudo dar origen y evolucionar en la monstruosa mazorca de maíz, aún con la poderosa influencia de la selección humana”. Otros estudios sobre el origen del maíz fueron realizados por Harshberger (1893) y en ellos sugiere que el maíz es un producto de la hibridación del teocintle con otro pasto, quizá extinto.

El origen del maíz no ha sido sencillo de rastrear. La mazorca es única entre los cereales y de ahí que la dilucidación de su origen haya sido un gran desafío científico. Por otra parte, el registro fósil de los restos más antiguos del maíz, encontrados en diversas partes de México, demuestran un gran cambio morfológico desde la pequeña espiga femenina (“mazorquita”) del teocintle, con unos cuantos granos de fácil dispersión, y la espiga femenina (mazorca) del maíz con una gran cantidad de granos fuertemente adheridos al “olote” (raquis). Aunque hay una evidente discontinuidad

entre la morfología de la espiga femenina del teocintle y el maíz, el análisis de estructuras intermedias (Figura 2) que se producen en su progenie, sugieren diferentes interpretaciones del origen del maíz.

En el primer cuarto del siglo XX, previo a las primeras exploraciones arqueológicas relacionadas con el maíz, se iniciaron estudios de la genética celular del maíz y del teocintle. Entre 1930 y 1932, Barbara McClintock³ fundamentaría las bases de la investigación que la llevaría a obtener el Premio Nobel, 50 años después, por sus estudios y descubrimientos con la genética del maíz y la metodología para el análisis de sus cromosomas.

²G.W. Beadle, 1978. “Teosinte and the origin of maize”. *Maize breeding and genetics*; D.B. Walden (Ed.), Wiley Interscience; páginas 113-128.

³McClintock B. 1929. “Chromosome morphology in Zea mays”. *Science*, Volumen 69, Número 1798, página 629; McClintock B. 1930. A Cytological Demonstration of the Location of an Interchange between two Non-Homologous Chromosomes of Zea Mays PNAS Vol. 16, Número 12; páginas 791-796; Creighton HB, McClintock B. 1931. A correlation of cytological and genetical crossing-over in Zea mays. PNAS Volumen 17, Número 8, páginas 492-497

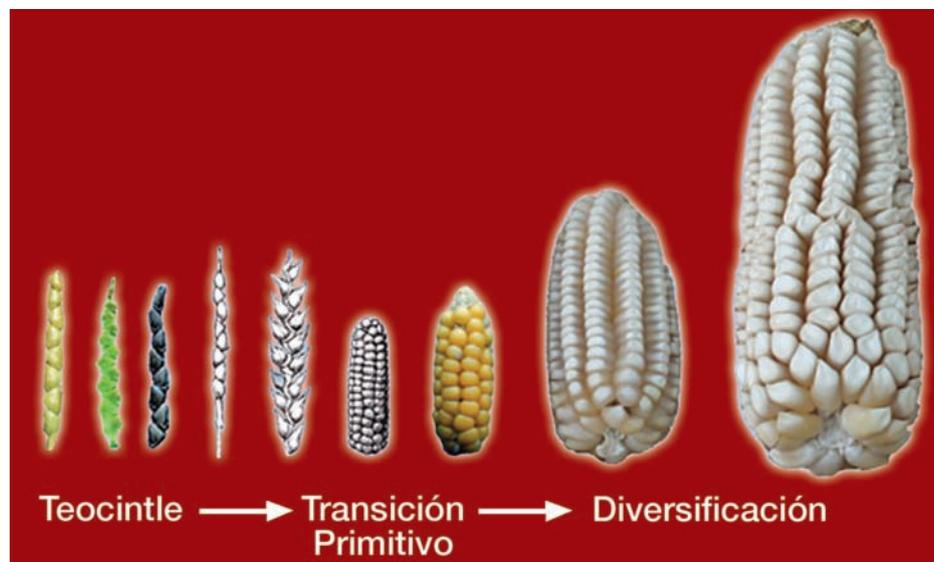


Figura 2. Secuencia morfológica de la posible evolución de la mazorca del teocintle y el maíz. Elaborada por Antonio Serratos de fuentes diversas: Las fotos 1 y 2 de izquierda a derecha son de la página web del museo Koshland: (www.koshland-science-museum.org/exhibitdna/crops02.jsp); 3 y 7 se tomaron de la página web del laboratorio de John Doebley (teosinte.wisc.edu/taxonomy.html), las figuras 4 a 6 se tomaron de Iltis (nota 12). Las fotos 8 y 9 son de maíz Cónico del Altiplano (archivo Antonio Serratos).

Al mismo tiempo, el estudio de la citogenética de la progenie del maíz y el teocintle, así como análisis morfológicos, darían indicios del origen del maíz al poder reproducir series morfológicas que sugerían un camino posible en la evolución del maíz desde el teocintle. El estudio de las diferencias y semejanzas en los cromosomas de los híbridos de maíz y teocintle, y la morfología de su progenie, dio a los investigadores como Collins (1921), Emerson (1924), Beadle (1932, 1939), Emerson y Beadle (1932), y Arnason (1936) elementos para proponer algunos de los posibles pasos en el proceso evolutivo de las dos especies.

Sin embargo, para muchos investigadores la falta de contundencia del registro fósil y la evidente diferencia de las mazorcas de ambas plantas, seguían siendo factores que impedían una explicación satisfactoria del origen del maíz a partir del teocintle. En 1938, Paul Mangelsdorf y R. Reeves⁴

propusieron los fundamentos de una de las hipótesis más influyentes sobre el origen del maíz y que explícitamente descartaba al teocintle como su ancestro. En particular, un estudio de Mangelsdorf (1959) postula algunos de los eventos que debieron haber sucedido durante la evolución del maíz bajo domesticación. Esta investigación se fundamentó en el análisis morfológico de los restos de maíz encontrados en la Cueva del Murciélago (Bat Cave, Nuevo México, Estados Unidos), comparados con los maíces más recientes que se consideran de características primitivas (el maíz tunicado y el maíz palomero), y sus parientes silvestres: teocintle y tripsacum. Con la información derivada de sus experimentos con los híbridos entre tripsacum y maíz moderno, Mangelsdorf (1959) establece que un extinto maíz silvestre del tipo tunicado y una especie de tripsacum, dieron origen al maíz (Figura 3). En los años 70

del siglo XX, con el descubrimiento del teocintle perenne (*Zea diploperennis*), Mangelsdorf modificó su teoría y propuso que el maíz se originó a partir de la cruce del teocintle perenne con un antiguo maíz tunicado-palomero. Con base en esta teoría, postula que el teocintle actual surgió de la hibridación de estas dos especies.

La teoría del origen del maíz a partir de un maíz silvestre, extinto en la actualidad, adoptó diferentes versiones por varias décadas. En paralelo, la hipótesis del teocintle como el ancestro del maíz siguió presente como antagónica a la del maíz silvestre extinto. George Beadle, quien desde 1939 había explorado el origen del maíz⁵, dio forma a la hipótesis de la evolución del teocintle y la intervención humana en el proceso de domesticación del maíz.

⁴Mangelsdorf, P.C. y R.G. Reeves. 1938. *The origin of maize*. PNAS 24(8). Páginas 303-312.

⁵Beadle G.W. 1939. "Teosinte and the origin of maize"; J. Heredity 30; páginas 245-247.

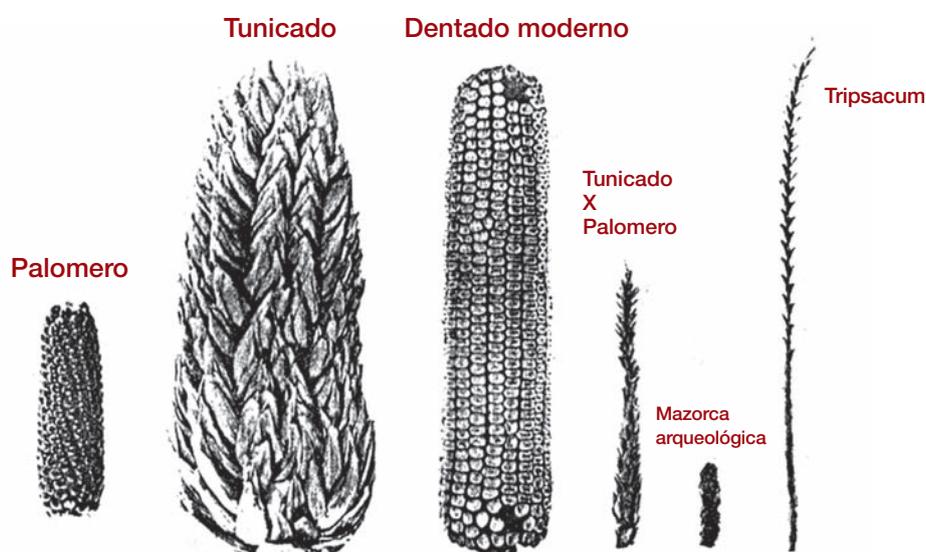


Figura 3. Análisis del maíz tunicado, palomero y del tripsacum en la teoría del origen del maíz, según Mangelsdorf (1959). Modificado por Antonio Serratos con base en las ilustraciones de Mangelsdorf (1959).

En dos escritos –el primero elaborado a principios de los 70s y publicado en 1978 y su continuación, publicado en 1980⁶– Beadle resume las evidencias que se tenían hasta entonces y desarrolla su hipótesis del teocintle como ancestro del maíz. En primer lugar, a pesar de sus diferencias morfológicas, maíz y teocintle pueden tener progenie fértil y se cruzan de forma natural en el campo. El entrecruzamiento en los cromosomas de los híbridos es normal, por lo que se deducía que existe una relación muy cercana entre ambos progenitores y, según Beadle, también se infería que el teocintle es ancestral al maíz por su capacidad de sobrevivir de forma silvestre. Asimismo, la dependencia del maíz al cultivo humano indicaba una característica moderna, resultado de la selección ejercida por éstos. Con estas evidencias, y la investigación del origen del maíz lograda hasta ese momento, Beadle fundamentó el estudio del origen del maíz a partir del teocintle, el cual han seguido sus alumnos y los principales grupos de investigadores del maíz en Estados Unidos y América Latina.

Otros estudios desde el punto de vista citogenético, de los núcleos cromosómicos del teocintle y el maíz, realizados por Ángel Kato del Colegio de Postgraduados (1976) permitieron identificar la variación y características de cada especie, por lo que se determinó que el teocintle era ancestral al maíz. Esa investigación fortalecía la hipótesis de la evolución progresiva del teocintle para dar origen al maíz. Por otro lado, el mismo Beadle, Mario Gutiérrez y Walton Galinat realizaron experimentos de segregación con los híbridos del

maíz Chapalote y el teocintle tipo Chalco, para estimar el número de genes que serían necesarios para diferenciar entre maíz y teocintle. Por los resultados que obtuvieron, concluyeron que “aproximadamente cinco genes mayores diferenciales, independientemente heredados de los progenitores”⁷ podrían explicar el paso de teocintle a maíz. Además, por una serie de investigaciones antropológicas del folclor relacionado con el teocintle, Beadle interpretó esto como un elemento de soporte de su hipótesis. En muchas partes de México, según los estudios de Garrison Wilkes (1970, 1977), el teocintle se utilizaba, y se utiliza, para mejorar el vigor del maíz. Además, referencias de las exploraciones de Lumholtz (1902) en Chihuahua citan el uso del teocintle para recuperar el rendimiento de campos de cultivo de maíz manejados por las comunidades de la región de Nobogame (Sánchez y Ruiz Corral, 1997). Para Beadle estas observaciones, junto con su propia interpretación de la palabra teocintle,⁸ podían constituir un caso de “memoria cultural” que confirmaría la asociación de las culturas prehispánicas con la evolución del maíz a partir del teocintle.

Es interesante notar que la palabra teocintle, como se usa en la actualidad, es una versión invertida de la palabra *cinteotl*, que entre los mexicas designaba el templo en el cual se realizaba el culto de la diosa del maíz, Xilonen. Johanna Broda, en su trabajo acerca de las relaciones políticas ritualizadas entre los mexicas (aztecas)⁹, explica parte de los cultos en “...las fiestas de *Tecuilhuitonli* (la fiesta pequeña de los *teteuctin* o señores) y *Huey tecuilhuitl* (la fiesta grande de los *teteuctin*): El día 10 del siguiente

mes [junio-julio], Huey tecuilhuitl, se sacrificaba a la representante de la diosa del maíz, Xilonen. Este día bailaban los guerreros (tiachcahuan, telpopochtlin, yaque, tequihuaque) llevando en las manos matas de maíz. Esta danza ritual se hacia delante de la representante de la diosa Xilonen, que iba acompañada por sus sacerdotisas (cihuatlamacazque). Sahagún [Fray Bernardino] señala que después del sacrificio de Xilonen en el templo de Cinteotl, la gente comía por primera vez en el año tortillas de jilote (xilotlaxcalcuaztli), y hacían ofrendas de cañas verdes de maíz (ohuatl) y de la planta huahuhquilitl. Según Durán, comían tamales de verdura, quiltamalli, y los ofrecían como primicias en los templos, junto con sartas de ají verde y sartales de mazorcas frescas de maíz”.

El carácter sagrado de los rituales alrededor del maíz está enfocado específicamente a éste en todas las culturas de América. En ninguna parte se han encontrado, o se han buscado, referencias al teocintle en los vestigios, murales, crónicas o en los códices de las diferentes culturas americanas. Este vacío de información hace muy difícil atribuir a las culturas prehispánicas un interés particular por el teocintle y, menos aún, su relación con el origen del maíz.

⁶Beadle GW. 1980. “The ancestry of corn”; *Sci. American* 242, páginas 112-119, y la nota 2.

⁷Ver nota 6. Beadle GW. 1980.

⁸Según Beadle, la palabra teocintle “viene del Azteca *teocentli*, que significa: *mazorca de dios del maíz*”.

⁹Johanna Broda. 1978. “Relaciones políticas ritualizadas: El ritual como expresión de una ideología”; *Economía política e ideología en el México prehispánico*, Carrasco P. y Broda J. (eds), CIS-INAH. Editorial Nueva Imagen, México, DF; pp. 221-254.

En el Popol Vuh (1986), por ejemplo, siempre se menciona al maíz como tal y lo que se narra es cómo los dioses crean “el cuerpo y la carne humana” con base en la masa de maíz¹⁰, nunca se menciona a su ancestro o la manera en que los dioses crean al maíz. Por lo tanto, y en contradicción con los argumentos de Beadle (1980), con los elementos antropológicos recogidos hasta ahora no es posible asociar al teocintle en la cosmovisión de las culturas mesoamericanas o andinas con relación al origen del maíz.

Una teoría vinculada a grupos de investigación actuales es la transmutación sexual catastrófica (Iltis, 1983¹¹), que en su momento representó una novedosa reflexión acerca del origen del maíz. Esta teoría establece que la inflorescencia femenina (mazorca) del maíz derivó de la espiga central de la inflorescencia masculina (espiga) del teocintle. En un giro sorprendente, Iltis propone que, a diferencia de todo lo establecido hasta entonces, el maíz evolucionó gracias a una repentina transmutación sexual que condensó las ramas del teocintle, colocándolas en la zona de expresión femenina de la planta. Así, se produjeron severas alteraciones en la distribución de nutrientes de la planta que la llevaron a un cambio morfológico drástico. Estas modificaciones en la estructura de la espiga masculina, para convertirla en mazorca, no involucrarían mutaciones sino, según Iltis, el fenómeno conocido como asimilación genética¹². Este cambio cuántico anormal sería entonces aprovechado por la selección

humana o, en otras palabras, una vez descubierta esta “monstruosidad útil” iniciada por condiciones muy particulares, el cazador-recolector aprovechó la oportunidad de domesticarla utilizando la selección.

Aunque sería muy extenso referirnos a todos los aspectos discutidos en el trabajo de Iltis, es pertinente mencionar que esta teoría está marcada por su afinidad con algunas teorías científicas en boga a finales de los años 70, en particular la teoría de catástrofes (René Thom¹³) y los conceptos de asimilación genética y epigénesis (Conrad Waddington¹⁴). Si bien la teoría de la transmutación sexual catastrófica del maíz planteada por Iltis es fascinante en muchos sentidos, las críticas que sufrió desde su publicación parecen deberse a una interpretación equivocada tanto de los conceptos de Waddington (1975a) como de los modelos evolutivos formalizados a través de la teoría de catástrofes (Thom, 1977). En particular, se consideró que la asimilación genética es una forma de “Lamarckismo¹⁵” y por lo tanto se descalificaban sus méritos científicos. En realidad, el concepto de asimilación genética es la versión Darwinista de los caracteres adquiridos y es un concepto que le permitió a Iltis (1983) describir un posible desequilibrio estructural y morfogenético (Thom, 1977) en el desarrollo del teocintle para explicar su transformación en el maíz primitivo.

Hacia finales de los años 80, la hipótesis del origen del maíz a partir del teocintle se consolidaba como la más aceptada en la comunidad académica y científica.

También empezaban a conformarse las nuevas generaciones de investigadores que comenzaron a utilizar las tecnologías emergentes de la biología molecular. En este esquema, dos escuelas de científicos, de la dominante teoría del teocintle, discutían alrededor del tema de las características del centro de origen del maíz. Esto es, después de establecer que el teocintle era el ancestro del maíz, los investigadores confrontaban ideas e información sobre los detalles del centro de origen del maíz. Para un grupo de especialistas, éste era unicéntrico, para otro era multicéntrico. Además, en esta época, un tercer grupo seguía haciendo investigación, enmarcada en la escuela de Mangelsdorf, que consideraba el origen del maíz como un evento precedido por un ancestro silvestre extinto y al teocintle como un híbrido entre maíz y *tripsacum*.

¹⁰ Popol Vuh. 1986. Antiguas historias de los indios quichés de Guatemala por Albertina Saravia. Editorial Porrúa, Colección “Sepan cuantos...”. Num. 36. Decimosexta edición. México, D.F.

¹¹ Iltis H.H. 1983. “From teosinte to maize: The catastrophic sexual transmutation”. *Science* 222; páginas 886-894.

¹² “La noción de asimilación genética involucra tanto un fenómeno como un mecanismo por el cual este fenómeno se produce. El fenómeno puede describirse como la conversión de una característica adquirida en una característica heredada”. “Asimilación genética es el nombre propuesto para ese proceso...” (Waddington, 1975a).

¹³ René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, Interédition, Paris, 1977 (*Estabilidad estructural y morfogénesis*, Editorial GEDISA, Barcelona, España, 1987). En este libro Thom aplica sus ideas de la teoría de catástrofes a la biología del desarrollo y la morfogénesis.

¹⁴ Conrad H. Waddington. 1975b. A catastrophe theory of evolution. En: “The evolution of an evolutionist” Waddington C.H. Cornell University Press, Ithaca, NY, Estados Unidos, pp 253-266

¹⁵ “Lamarckismo” término que se aplica a los estudios que se supone están basados en la idea del científico Lamarck de la “herencia de los caracteres adquiridos”. De manera simplista se ha caricaturizado a Lamarck como anticientífico.



Historia de la investigación del origen del maíz 1990 - al presente

En los años 90, parecía haberse logrado un consenso entre científicos sobre la prevalencia de la teoría del teocintle; sin embargo, de vez en cuando emergían investigaciones relacionadas con el maíz silvestre extinto en la línea de argumentación de Mangelsdorf y sus colaboradores¹⁶. A manera de resumen la Figura 4 muestra los diagramas desarrollados en 1995 por Wilkes y Goodman¹⁷, que representan las diferentes teorías del origen del maíz. También, en esa época se consolidaban los estudios realizados con el auxilio de las nuevas técnicas de la biología molecular que llevarían a una exploración profunda sobre el origen del maíz, en una escala evolutiva de millones de años. Entre 1990 y 1992 John Doebley, de la Universidad de Minnesota, formula variaciones a partir de los estudios pioneros de Beadle con la aplicación de marcadores moleculares para definir la diferenciación del teocintle y el maíz. Con su investigación John Doebley consolida la teoría del teocintle como ancestro del maíz.

En uno de los primeros trabajos en los que se empleó la metodología de los marcadores moleculares¹⁸ para analizar el origen del maíz, Doebley y sus colaboradores¹⁹ concluyeron que, en cinco segmentos de cuatro cromosomas de los híbridos de maíz y teocintle se encuentra la información genética que produjo una modificación morfológica en las espigas femeninas y masculinas entre estas dos especies. Sugieren que en el maíz como consecuencia a ese cambio morfológico, se produce la expresión de rasgos sexuales secundarios masculinos dentro de un fondo genético femenino. En esta investigación es clara una

derivación de los estudios de Beadle e Iltis, comentados en párrafos precedentes, por lo que no es sorprendente que las conclusiones de Doebley y colaboradores sean complementarias a las propuestas por aquellos científicos: una serie de mutaciones producen la transformación sexual de la inflorescencia masculina del teocintle en la inflorescencia femenina del maíz. Asimismo, en ese trabajo se concluye que el gen *Tunicado* (en inglés, *tunicate* o *Tu*) no tiene participación en el origen del maíz. Esta conclusión contradice uno de los supuestos básicos de la teoría de Mangelsdorf (1939, 1959) que descansa en la suposición de que un tipo de maíz tunicado²⁰ participó en el origen del maíz.

En 1991 Doebley y Stec²¹, al estudiar la morfología de la progenie del maíz y teocintle, encuentran que los resultados de los análisis genéticos moleculares son congruentes, una vez más, con los resultados de Beadle en el sentido de identificar cinco regiones genómicas que controlan las diferencias entre estas dos plantas. Estos científicos enfatizan la importancia del gen *Ramificación teosintoide* (en inglés, *Teosinte branched* o *tb1*) por su efecto en la arquitectura de la inflorescencia y su impacto en el desarrollo morfológico del maíz. Posteriormente, en un trabajo de revisión publicado en 1992²², Doebley afirma que los trabajos realizados hasta entonces, con el apoyo de metodologías biotecnológicas, permitían apoyar la teoría de Beadle en el sentido de que las diferencias morfológicas entre maíz y teocintle se iniciaron con unas cuantas mutaciones que afectaron poderosamente la morfología de la planta de maíz adulta. Por otra parte,

en este trabajo Doebley prevé que se estaría cerca de clonar los genes involucrados en el cambio evolutivo del teocintle para dar origen al maíz.

Unos años después, Mary Eubanks publicó en 1995 un estudio en el que presenta evidencia de un híbrido producido por medio de la cruce entre *Tripsacum dactyloides* (una de las especies de tripsacum) y *Zea diploperennis* (el teocintle perene), dos parientes silvestres del maíz²³. Con este trabajo Eubanks revive la teoría de Mangelsdorf, conocida como la teoría tripartita, y sugiere que los híbridos de *Tripsacum-diploperennis* son uno de los eslabones perdidos para resolver el rompecabezas del origen del maíz. El argumento principal de Eubanks es que los híbridos de tripsacum con teocintle perene representan al extinto maíz silvestre, pieza principal de la teoría de Mangelsdorf (1939).

Por su lado, Doebley y sus colaboradores exploraban a nivel molecular los genes de procesos bioquímicos y enzimáticos que podrían estar contribuyendo al cambio evolutivo del teocintle al maíz²⁴.

¹⁶ En particular, Mary Eubanks de la Universidad de Durham en Carolina del Norte, Estados Unidos.

¹⁷ Wilkes H.G. y Goodman M.M. 1995. "Mystery and missing links: The origin of maize". *Maize Genetic Resources*, Maize Program Special Report; Taba, S. (editor), México, DF, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

¹⁸ La metodología de los marcadores moleculares se basa en una serie de procesos bioquímicos que involucran la extracción, purificación y fragmentación del ácido desoxirribonucleico de los organismos, para la detección e identificación de segmentos particulares en ese material genético. Ver la Figura 7.

¹⁹ Doebley J., Stec A., Wendel J., Edwards M., 1990. "Genetic and morphological analysis of a maize-teosinte F2 population: Implications for the origin of maize". *Proc Natl Acad Sci USA*, Volumen 87; pp. 9888-9892.

²⁰ Maíz tunicado es un tipo de maíz en el que cada grano está envuelto con tejido vegetativo. Ver la figura 3, el segundo dibujo de izquierda a derecha.

²¹ Doebley J., Stec A. 1991. "Genetic analysis of the morphological differences between maize and teosinte". *Genetics*, Volumen 129; pp. 285-295.

²² Doebley J. 1992. "Mapping the genes that made maize". *Trends in Genetics*, Volumen 8, Número 9; pp. 302-307.

²³ Eubanks M. 1995. "A cross between two maize relatives: *Tripsacum dactyloides* and *Zea diploperennis* (Poaceae)". *Economic Botany* 49(2); páginas 172-182.

²⁴ Hanson M.A., Gaut B.S., Stec A., Fuerstenberg S.I., Goodman M.M., Coe E.H., Doebley J. 1996. "Evolution of anthocyanin biosynthesis in maize kernels: The role of regulatory and enzymatic loci". *Genetics*, Volumen 143; pp. 1395-1407.

Este tipo de estudios se diseñaron con el objetivo de encontrar evidencias que contribuyeran a probar hipótesis de cambios macroevolutivos, como los que pudieron estar involucrados en el origen y evolución del maíz, y que explicarían el gran salto del teocintle y su transformación en maíz. El análisis de los resultados de esta investigación de Doebley y sus colaboradores les llevó a sugerir que los cambios en los genes que regulan la actividad de las proteínas son determinantes en la evolución del teocintle al maíz. En este caso, en la generación de granos púrpura en maíz, a partir de los granos sin color del teocintle.

El refinamiento de los métodos de la biología molecular ha permitido que se avance en el conocimiento de los procesos más antiguos en el sendero evolutivo del maíz. Así, en 1997, Brandon Gaut y John Doebley desarrollan una investigación²⁵ en la que, a través del análisis de la divergencia en las secuencias de 14 pares de genes, duplicados en cromosomas del maíz, deducen que la conformación del genoma²⁶ básico del cual se derivan los

ancestros más antiguos del género *Zea* estarían presentes desde hace 20 millones de años. Además, estos científicos sugieren que hace 11 millones de años ocurrió otro evento crucial en la evolución del género *Zea* al producirse la hibridación de dos especies ancestrales que conformaron el número cromosómico que contiene el maíz (10 cromosomas).

Las investigaciones que emplean metodologías de la biología molecular también han contribuido a explicar la evolución de características importantes del maíz y sus parientes silvestres. Por ejemplo, el análisis de genes (*tassel seed* y *gynomonocious sex form*²⁷) que intervienen en el desarrollo de las inflorescencias monoicas²⁸ del tripsacum y el maíz, llevó al equipo de Stephen Dellaporta²⁹ a sugerir que la formación de las florecillas masculinas del grupo de los pastos (*Andropogonae*) en el que se encuentran aquellas dos especies de plantas, es una característica proveniente de un solo grupo ancestral. Este tipo de investigaciones permiten explorar la historia evolutiva de las mazorcas y espigas que, como ya se ha

mencionado, son muy importantes para comprender las teorías del origen del maíz.

Desde finales del siglo XX e inicios del XXI se ha venido consolidando el estudio del origen del maíz con el auxilio de la biología molecular. Así, la determinación de la estructura y el origen de la estructura genómica (o conjunto de genes) que puede lograrse con las metodologías moleculares ha sido un factor muy importante para entender la evolución del maíz. Por ejemplo, se ha estimado que la duplicación cromosómica del maíz sucedió hace 11 millones de años y que su conformación genética atravesó por un proceso de proliferación de elementos genéticos móviles³⁰ hace más de 5 millones de años. Estos eventos produjeron la base sobre la cual se desarrollaría la posterior diversificación del género *Zea*. En esta escala de tiempo, la historia evolutiva del maíz está enmarcada en un proceso en el que actúan sólo los factores de la naturaleza y por medio de los cuales los ancestros anteriores al teocintle y al maíz constituyeron la materia prima que, después de millones de años, sería manejada por el ser humano.

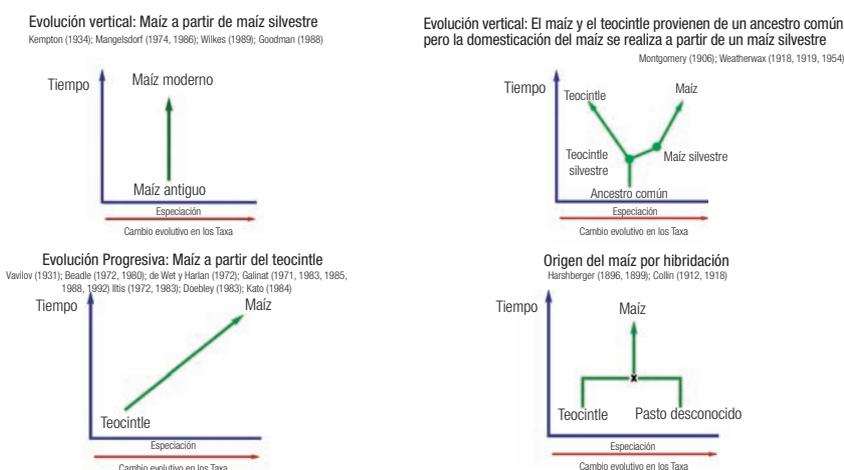


Figura 4. Teorías acerca del origen del maíz. Adaptado por Antonio Serratos de la ilustración de Wilkes y Goodman (Nota 17).

²⁵ Gaut B.S. y Doebley J.F. 1997. "DNA sequence evidence for the segmental allotetraploid origin of maize". Proc. Natl Acad Sci USA, Volumen 94; páginas 6809-6814.

²⁶ Genoma es el conjunto de información genética que está contenida en la secuencia de genes de los cromosomas de los organismos.

²⁷ Tassel seed2 *Ts2* (espiga semilla) es un mutante de maíz y *Gynomonocious sex form* *gsf* (forma sexual gino-monoica) es un mutante de *Tripsacum dactyloides*. Más información sobre los mutantes del maíz: <http://www.maizegdb.org/cgi-bin/locusvarimages.cgi?id=12691>

²⁸ Planta monoica es aquella que tiene los dos tipos de flores unisexuales en el mismo individuo. En maíz se les conoce como inflorescencias; las masculinas están en las espigas superiores y las femeninas, en la mazorca.

²⁹ Li D., C.A. Blakey, C. Dewald, S.L. Dellaporta. 1997. "Evidence for a common sex determination mechanism for pistil abortion in maize and its wild relative *Tripsacum*". PNAS USA Volumen 94; páginas 4217-4222.

³⁰ Ver nota 1.

Estado del conocimiento del centro de origen y domesticación del maíz

En el inicio del siglo XXI la investigación acerca del origen del maíz está determinada por la preponderancia de las metodologías de la biología molecular. Con base en ellas se han podido explorar escenarios evolutivos de millones de años en los que se conforman las estructuras genómicas de los organismos vegetales que anteceden a las familias a las que pertenecen no sólo el maíz y el teocintle, sino muchos otros grupos de plantas. Así también, se han descrito algunos mecanismos genéticos que podrían estar involucrados en la transformación específica del teocintle al maíz en horizontes temporales de entre siete y nueve mil años en los que se estima se le domesticó. Sin embargo, en más de setenta años de confrontación e intercambio de ideas con relación al origen del maíz, sólo se ha producido un consenso entre la comunidad científica: el teocintle es el ancestro del maíz.

Aunque la investigación reciente sigue aportando datos importantes con relación al origen del maíz, falta definir con más precisión aspectos básicos del cómo y dónde se creó esta planta. Todavía no es posible marcar la supremacía de alguna de las teorías de la ubicación del centro, o centros, de origen y domesticación del maíz porque en este escenario siguen faltando datos de los registros fósil y arqueológico de este proceso. Son muy pocas las exploraciones arqueológicas y paleontológicas específicas que se han enfocado al análisis del maíz en América. Las mejor conocidas son las de Puebla (Tehuacán) y Oaxaca (Guilá Naquitz) en México, la de Nuevo México (Cueva del Murciélagos) en Estados Unidos, y algunas más en otras partes de México (ver notas 60 y 61) y en Ecuador (ver nota 62).

Esta escasez de datos cruciales del registro fósil y arqueológico del maíz y teocintle, en comparación con el potencial de sitios que se encuentran en toda América, limita la correcta definición y localización de los centros de origen, domesticación y diversidad del maíz. En términos prácticos esta investigación científica sería de gran relevancia para aspectos tan delicados como la revisión de leyes de bioseguridad en las que, como en el caso mexicano, es indispensable contar con la información científica pertinente para la protección del maíz nativo.

El proceso de domesticación es el tercer elemento involucrado en el cómo se originó el maíz. Sea por medio de selección gradual o por una transmutación sexual catastrófica, la intervención humana es una condición indispensable para la transformación del teocintle en maíz. La determinación del proceso de domesticación es clave para ubicar el centro de origen y la diversificación del cultivo. Recordemos que con el surgimiento y discusión de las teorías sobre el origen del maíz se propusieron mecanismos de domesticación íntimamente ligados al trabajo humano y a la agricultura, por lo que siempre se ha reconocido que los agricultores de las diferentes culturas americanas no pueden separarse de la domesticación y diversificación del maíz en épocas posteriores y hasta el presente.

Los estudios sobre la domesticación del maíz han generado teorías antagónicas con relación al centro de origen: la unicéntrica y la multicéntrica. Aunque la controversia en cuanto al carácter único o múltiple del centro de domesticación del maíz es bastante añeja, no se puede afirmar que esté resuelta. Un estudio reciente de Yashihiro Matsuoka, del

grupo de Doebley³¹, concluye que todo el maíz que conocemos en la actualidad surgió de un evento único de domesticación en el sur de México hace nueve mil años. Los resultados de su análisis condujeron a otras conclusiones que, según los autores, apoyan definitivamente el carácter unicéntrico del origen del maíz. En primer lugar, se identificó al teocintle *Zea mays ssp parviglumis* como el progenitor único del maíz, y al teocintle *Zea mays ssp. mexicana* como contribuyente de su diversificación, principalmente del maíz del altiplano. Por ser estos dos teocintles de distribución limitada a la región del Balsas y el altiplano del centro de México, respectivamente, Doebley y sus colaboradores deducían que podían definir la ubicación geográfica específica de la cuna del maíz. Sin embargo, es necesario sugerir cautela porque, como se mencionó anteriormente, el registro fósil y arqueológico es bastante limitado y por lo tanto una conclusión definitiva no es pertinente.

A pesar de la preferencia de la teoría unicéntrica por parte de varios grupos de investigación, la teoría multicéntrica no puede ser descartada porque ha aportado evidencias muy importantes en su apoyo, en particular, la correlación entre los núcleos cromosómicos de cada complejo racial y las regiones geográficas en las que aquellos se localizan. Esta es una prueba bastante fuerte que apunta no sólo al origen y domesticación del maíz sino también a su diversificación. Kato (2005) analiza los patrones característicos de los núcleos cromosómicos³² del maíz y el teocintle, y encuentra que pueden ser asociados a patrones geográficos de las poblaciones de cada una de estas especies. Por

ejemplo, a un patrón particular de nudos cromosómicos se le conoce como “complejo” y está asociado a un conjunto de razas de maíz o a las poblaciones de teocintle. Al asociar muestras de maíz o teocintle de diferentes regiones con los patrones nodulares cromosómicos se puede inferir la relación genética entre las muestras, su distribución geográfica y patrones de dispersión/migración. Derivado de su análisis, Kato concluye que el origen del maíz es producto de varias poblaciones de teocintles y, en consecuencia, existen al menos cuatro centros de origen/domesticación del maíz que se extienden a lo largo de México y hasta Guatemala. La dispersión de estos complejos raciales hacia Norte y Sudamérica seguiría los mismos senderos que se han identificado en otros estudios, incluido el de Matsuoka y colaboradores.

Quedan por resolverse preguntas importantes con relación al proceso de domesticación y la definición uni o multicéntrica del origen y diversidad del maíz. Por lo tanto, podríamos concluir esta sección como lo hace Garrison Wilkes en uno de sus trabajos³³: *“Hay muchas verdades en todas esas contribuciones [en el estudio del origen del maíz], pero hay todavía elementos de misterio en lo que queda por resolverse”*.

³¹ Matsuoka Y., Vigouroux Y., Goodman M.M., Sánchez-González J., Buckler E., Doebley J. 2001. “A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping”. PNAS USA, Volumen 99, Número 9; páginas 6080-6084.

³² Nódulos cromosómicos. Son elementos de los cromosomas en forma de nudo que contienen sustancias químicas especiales (heterocromatina) visibles en microscopio. La posición de los nódulos se determina por medio de tinciones especiales al momento de la meiosis (formación de gametos para la reproducción sexual) en los microesporocitos (polen inmaduro). Ver el artículo de Angel Kato (1997) en el que se hace un análisis de los nódulos cromosómicos en teocintle y maíz.

³³ Wilkes, G. 2004. Corn, Strange and Marvelous: But Is a Definitive Origin Known?. In: “Corn: Origin, History, Technology, and Production” C. Wayne Smith (ed), Wiley & Sons, Inc. pp 3-63.



La diversidad del maíz en el continente americano

El estudio de la diversidad del maíz 1940-1980

A partir de los años 40 del siglo pasado se inició la exploración de la diversidad del maíz en el continente americano. Estos estudios fueron apoyados principalmente por la Fundación Rockefeller, la Academia Nacional de Ciencias y el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos. En la Academia de los Estados Unidos se formó un Comité para la Preservación de las Razas Indígenas de Maíz que funcionó como coordinador del trabajo de colección y descripción del maíz en América que se realizó hasta mediados de los 70. En México y Centroamérica, la Oficina de Estudios Especiales de la Secretaría de Agricultura de México se encargó, junto con instituciones académicas agrícolas, de la coordinación e infraestructura del trabajo de campo. En Sudamérica, el Instituto Colombiano de Agricultura asumió las funciones de coordinación y apoyo del trabajo de campo que se realizó para la recolección del maíz en los países de la región.

Para el almacenamiento y preservación de las colectas de maíz se prepararon bancos de germoplasma en México, Colombia y Brasil, además de los que existían en Estados Unidos. En estos bancos de conservación de germoplasma de maíz *ex situ* están guardadas las semillas de la mayoría de los maíces que existen en América. La memoria de este trabajo está en una serie de documentos de las razas de maíz de cada uno de los países de América que han participado en la preservación del cultivo³⁴. Estos documentos son la base para el conocimiento, investigación y conservación del maíz, no sólo del continente americano sino también del resto del mundo. A continuación

se hará una síntesis de la diversidad del maíz y su estudio, desde la publicación de los folletos del maíz hasta el presente, y la investigación realizada para sistematizar, ordenar y usar la diversidad del maíz.

En los primeros ensayos para la clasificación del maíz se utilizó la definición de raza que propusieron Anderson y Cutler (1942): "Un grupo de individuos emparentados, con suficientes características en común para permitir su reconocimiento como grupo". Esta definición fue la base para los primeros estudios de la diversidad del maíz en América con la que se clasifican los grupos o razas de las distintas regiones del continente. Asimismo, la asociación del sitio o localidad en la que se encuentra el maíz (ambiente) con sus características raciales (genotipo) genera la nomenclatura de "raza local"³⁵. En la práctica, se tomó el mayor número de características morfológicas para describir a las plantas de cada una de las razas de maíz colectadas. En este caso, los rasgos de la mazorca (espiga femenina) se consideran los más importantes para diferenciar a las plantas en las diversas categorías raciales³⁶.

En el Cuadro 1 se enlistan las razas catalogadas en los países de América que han hecho exploraciones del maíz en sus territorios. La información del maíz de la mayoría de los países está contenida en el Catálogo del Germoplasma de Maíz del CIMMYT, parte del proyecto Latin American Maize Project (LAMP)³⁷, y de otras fuentes relacionadas con los folletos de las razas de maíz que se mencionaron anteriormente. No todas las fuentes coinciden en el número de razas catalogadas o en el nombre de cada una de

ellas. Sin embargo, en este trabajo se consolidó la información de las fuentes consultadas con los registros históricos desde las primeras exploraciones realizadas en México que datan de 1943.

En los trabajos realizados con taxonomía numérica³⁸, para sistematizar y ordenar la diversidad del maíz, en los 70, y los análisis moleculares con el mismo objetivo a partir de finales de los 80, se emplean los mismos números de catálogo asociados a los nombres de las razas en el Cuadro 1.

³⁴ (1) Wellhausen E.J., Roberts L.M., Hernández-Xolocotzi E., Mangelsdorf P.C. 1952. *Races of maize in Mexico*. Bussey Institute, Harvard University (Cambridge); (2) Hatheway W.H. 1957. *Races of maize in Cuba*. National Academy of Sciences, NRC Publication 453. Washington D.C.; (3) Roberts L.M., Grant U.J., Ramírez R., Hatheway W.H., Smith D.L., Mangelsdorf P.C. 1957. *Razas de maíz en Colombia*. Ministerio de Agricultura de Colombia, Oficina de Investigaciones Especiales, Boletín técnico Num. 2. Editorial Máxima, Bogotá, Colombia; (4) Wellhausen E.J., Fuentes A., Hernández-Corzo A., Mangelsdorf P.C. 1958. *Razas de maíz en la América Central*. Folleto técnico 31, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería, México DF; (5) Grobman A., Salhuana W., Sevilla R., Mangelsdorf P.C. 1961. *Races of maize in Peru*. National Academy of Sciences, NRC Publication 915. Washington D.C.; (6) Timothy D.H., Peña B., Ramírez R., Brown W.L., Anderson E. 1961. *Races of maize in Chile*. National Academy of Sciences, NRC Publication 847. Washington D.C.; (7) Ramírez R., Timothy D.H., Díaz E., Grant U.J., Nicholson-Calle G.E., Anderson E., Brown W.L. 1961. *Razas de maíz en Bolivia*. Ministerio de Agricultura de Colombia, Oficina de Investigaciones Especiales, Boletín técnico Num. 9. Editorial ABC, Bogotá, Colombia; (8) Grant U., Hatheway W.H., Timothy D.H., Cassalett C., Roberts L.M. 1963. *Races of maize in Venezuela*. National Academy of Sciences, NRC Publication 1136. Washington D.C.; (9) Timothy D.H., Hatheway W.H., Grant U.J., Torregroza M., Sarria D., Varela D. 1966. *Razas de maíz en Ecuador*. Instituto Colombiano Agropecuario, Ministerio de Agricultura de Colombia, Boletín Técnico Num. 12. Bogotá Colombia; (10) Paterniani, E. and Goodman, M.M. (1978). *Races of Maize in Brazil and Adjacent Areas*. Mexico: International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City.

³⁵ En inglés, *landrace of maize*.

³⁶ Ver nota 34 referencia 1. "... la mazorca y no la espiga presenta caracteres de diagnóstico más útiles que cualquier otra parte de la planta puesto que la mazorca es el órgano más especializado de la planta de maíz y es la estructura que distingue más que cualquier otra, al *Zea mays*, de todas las otras especies de gramíneas". En particular, se miden los caracteres externos de la mazorca tales como: longitud, diámetro de la parte media, número de hileras de grano, diámetro del pedúnculo, ancho, espesor, depresión y estrías del grano, entre otros, así como caracteres internos, longitud de raquilla, diámetro del olote, índice de olote/raquis, gluma/grano y raquilla/grano, principalmente.

³⁷ Proyecto Latinoamericano de Maíz (LAMP), 1991. ARS-USDA, CIMMYT, Pioneer Hi-Bred International Inc., Universidad Agraria La Molina (Perú); CIMMYT, 1999, A core subset of LAMP, from the Latin American Maize Project 1986-1988. México, D.F.

³⁸ Taxonomía numérica. Es un grupo de técnicas matemáticas por medio de las cuales se clasifican a los organismos con base en su similitud o semejanza. Generalmente se utilizan características morfológicas, aunque en realidad se utilizan cualquier tipo de caracteres para agrupar a las unidades taxonómicas operacionales (por ejemplo: razas, especies, familias, etc.)

Este cuadro contiene la nomenclatura que se encuentra en los folletos de las razas del maíz de América y que se ha conservado hasta el presente en los bancos de germoplasma. Otros códigos específicos y datos de pasaporte de las accesiones correspondientes a cada colecta están en cada uno de los bancos de germoplasma (p. ej. CIMMYT).

Esos primeros trabajos de clasificación y ordenamiento del maíz en América se fundamentaron en la descripción de las razas sobre bases morfológicas, fisiológicas, genéticas, agronómicas y características citogenéticas (nudos cromosómicos), que permitieron establecer patrones de relaciones genealógicas preliminares. En los folletos del maíz del continente americano (nota 34), además de la clasificación en grupos y las relaciones de afinidad y parentesco, se presentan los mapas de distribución de las diferentes razas. Esta información constituye la base del conocimiento de la diversidad del maíz y ha servido, hasta ahora, como patrón en la descripción de las razas. Por supuesto, se ha avanzado en la clasificación de las razas de maíz; sin embargo, la nomenclatura y los datos de pasaporte de las colectas, también llamadas accesiones, de las razas de maíz del continente siguen conservando la información de aquellos trabajos pioneros de exploración del maíz en el continente.

Cada uno de los folletos relata la historia del estudio del maíz en cada país. Así, nos enteramos que la diversidad del maíz en México (nota 34, inciso 1) tiene una de sus primeras referencias con Fray Bernardino de Sahagún (1529) y después, en el siglo XIX y principios del XX, científicos mexicanos como

de la Rosa (1846) y López y Parra (1908) abundan en el estudio de la variabilidad del maíz en México. De igual manera, en Perú (nota 34, inciso 5), las referencias al cultivo del maíz se remontan al historiador Inca Garcilaso en 1609. Ya para principios del siglo XX, los científicos rusos Kuleshov y Vavilov (nota 34, incisos 1, 3, 4, 5) hicieron aportaciones importantes al estudio de la diversidad en el continente americano; el primero por su investigación del maíz en México, Centroamérica y Colombia.

El estudio y descripción de las razas de maíz en México y Colombia permitió una primera aproximación a lo que debieron haber sido las migraciones, en tiempos prehistóricos, prehispánicos y posteriormente con el comercio en el Virreinato, de los diferentes tipos de maíz en el continente. En el folleto de las razas de maíz en Centroamérica es muy evidente la relación de los maíces de Guatemala con las razas del sureste de México, en particular con la raza Nal-tel de la cultura maya. Hacia el sur, el resto de los países de la América Central están infiltrados con algunas razas y mezclas, representativas de Colombia y de la región andina, en particular del Perú. Una característica importante en Perú es que el cultivo del maíz en la cultura incaica se da en condiciones consideradas de agricultura avanzada, lo cual produce una gran variación de grano y mazorca. La agricultura en la cultura Inca conduce a Grobman y colaboradores a proponer una teoría sobre los centros múltiples de domesticación. Siguiendo a Kuleshov, Grobman (nota 34, inciso 5) define centro de domesticación independientemente del centro de origen botánico. En consecuencia,

incluso el teocintle estaría siendo descartado como ancestro del maíz porque se estaría suponiendo que el maíz silvestre extinto sería el precursor del maíz actual en esa región. Los estudios genéticos y taxonómicos actuales rechazan esta versión del origen y domesticación del maíz, pero investigación arqueológica reciente en la zona andina produce información interesante sobre la antigüedad del maíz en Sudamérica ya que se han encontrado restos de maíz tan antiguos como las que se localizan en México (notas 60 a 62).

En los años 70 se había acumulado una gran cantidad de información de la diversidad de maíz de América. En esos años, a partir del desarrollo de los métodos estadísticos que manejan una gran cantidad de variables y los inicios de los sistemas de cómputo hacia finales de los años 60, fue posible analizar la variabilidad del maíz del continente de una forma sistemática, a través de lo que se denominó taxonomía numérica (nota 38). Major Goodman y Robert Bird (1977) emprendieron la exploración de las relaciones taxonómicas de las razas de maíz de toda América, para lo cual utilizaron la información de los folletos de las razas de maíz y los métodos desarrollados años antes. Los resultados de ese trabajo les permitieron describir 14 conglomerados de las razas de maíz del continente americano. En la Figura 5 se presenta una compilación parcial de los resultados de Goodman y Bird, publicados en 1977³⁹.

³⁹ Goodman, MM, Bird RMck. 1977. The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races (*Las razas de maíz IV: Agrupamiento tentativo de 219 razas de Latinoamérica*). *Economic Botany* 31: 204-221.

Cuadro 1. Compilación de las razas de maíz catalogadas por país. Elaborado por Antonio Serratos con base en varias fuentes (notas 34 y 37). Ver el mapa de la figura 8.

País	Razas catalogadas
Argentina (47)	Amarillo Ocho Hileras, Amarillo de Ocho, Altiplano, Amargo, Avatí Morotí, Avatí Morotí Mita, Avatí Morotí Ti, Avatí Pichingá, Azul, Blanco Ocho Hileras, Calchaqui, Camelia, Canario de Formosa, Capia Blanco, Capia Garrapata, Capia Rosado, Capia Variiegado, Catete Oscuro, Chaucha Amarillo, Chaucha Blanco, Chulpi, Colita Blanco, Complejo Tropical, Cravo, Cristalino Amarillo, Cristalino Amarillo Anaranjado, Cristalino Blanco, Cristalino Colorado, Cristalino Naranja, Cristalino Rojo, Culli, Cuzco, Dentado Blanco Rugoso, Dentado Amarillo, Dentado Blanco, Dentado Amarillo Marlo Fino, Dentado Blanco Marlo Fino, Dulce, Marrón, Morochito, Negro, Pericarpio Rojo, Perla, Perla, Pisingallo, Socorro, Tuzón, Venezolano
Bolivia (77)	Achuchema, Amarillo Subtropical, Altiplano, Aperlado, Argentino, Ayzuma, Bayo, Blanco Mojo, Blanco Yungueño, Blando Amazónico, Blando Blanco, Blando Cruceño, Camba, Canario, Cateto, Chake Sara, Checchi, Cholito, Chuncula, Chuspillu, Concebideño, Colorado, Cordillera, Confite Puneño, Coroico, Coroico Amarillo, Coroico Blanco, Cubano Amarillo, Cubano Blanco, Cubano Dentado, Cuzco Boliviano, Cuzco Huilcaparú, Duro Amazónico, Duro Beniano, Enano, Harinoso de Ocho Hileras, Huaca Songo, Hualtaco, Huilcaparu, Jampe Tongo, Janka Sara, Kajbia, Karapampa, Kcello, Kellu, Kellu Huilcaparu, Kepi Siqui, Kulli, Morado, Morochillo, Morocho, Morocho Chaqueño, Morocho Chico, Morocho Grande, Morocho Ocho Hileras, Morocho Catorce Hileras, Niñuelo, Oke, Parú, Pasankalla, Patillo, Patillo Grande, Perla, Perla Amarillo, Perla Primitivo de los Llanos, Perola, Pisankalla, Pojoso Chico, Pororo, Pura, Purito, Reventón, Tuimuru, Uchuquilla, Yungueño
Brasil (44)	Caiano, Caingang, Canario de Ocho, Caribe Precoz, Cateto, Cateto Sulino, Cateto Sulino Precoce, Cateto Sulino Escuro, Cateto Sulino Grosso, Cateto Assis Brasil, Cateto Grande, Cateto Nordista Precoce, Chavantes, Cravo, Criollo de Cuba, Cristal Semidentado, Cristal Sulino, Cravo Riograndense, Cravo Paulista, Dente Amarelo, Dente Riograndense, Dente Riograndense Rugoso, Dente Riograndense Liso, Dente Paulista, Dente Branco, Dente Branco Riograndense, Dente Branco Paulista, Dente Colorado, Entrelazado, Guaraní Popcorns, Hickory King, Indígena, Lenha, Morotí Precoce, Morotí Guapí, Perola, Pinha, Pipoca, Saint Croix, Semidentado Riograndense, Semidentado Paulista, Semidente Amarelo, Semidente Azul, Tusón
Colombia (23)	Amagaceño, Andaquí, Cabuya, Cacao, Capio, Cariaco, Chocoseño, Clavo, Común, Costeño, Güirua, Imbricado, Maíz Dulce, Maíz Harinoso Dentado, Montaña, Negrito, Pira, Pira Naranja, Pollo, Puya, Puya Grande, Sabanero, Yucatán
Cuba (11)	Cubano Amarillo, Chandelle, Coastal Tropical Cristalino, Cuban Flint, Maíz Criollo, Tusón, Argentino, Canilla, White Pop, Yellow Pop, White Dent
Chile (29)	Amarillo Malleco, Amarillo Ñuble, Araucano, Capio Chico Chileno, Capio Grande Chileno, Capio Negro Chileno, Camelia, Choclero, Chulpi, Chutucuno Chico, Chutucuno Grande, Cristalino Chileno, Cristalino Norteño, Curagua, Curagua Grande, Dentado Comercial, Diente Caballo, Dulce, Harinoso Tarapaqueño, Limeño, Maíz de Rulo, Marcame, Morocho Blanco, Morocho Amarillo, Negrito Chileno, Ocho Corridas, Pisankalla, Polulo, Semanero
Ecuador (31)	Canguil, Sabanero Ecuatoriano, Cuzco Ecuatoriano, Mishca, Patillo Ecuatoriano, Racimo de Uva, Kcello Ecuatoriano, Chillo, Chulpi Ecuatoriano, Morochón, Huandango, Montaña Ecuatoriano, Blanco Harinoso Dentado, Cónico Dentado, Uchima, Clavito, Pojoso Chico Ecuatoriano, Tusilla, Gallina, Candela, Maíz Cubano, Tuxpeño, Chocoseño, Blanco Blandito, Cholito Ecuatoriano, Yunga, Enano Gigante, Yunquillano, Yungueño Ecuatoriano
Guatemala (33)	Criollo, Huesillo, Nal-Tel, Nal-Tel Amarillo, Nal-Tel Amarillo Tierra Baja, Nal-Tel Blanco Tierra Baja, Nal-Tel Amarillo Tierra Alta, Nal-Tel Blanco Tierra Alta, Nal-Tel Ocho, Imbricado; Serrano, San Marceño, Quiché, Quicheño Rojo, Quicheño Grueso, Quicheño Ramoso, Negrita, Negro, Negro Chico, Negro Chimaltenango Tierra Fria, Negro Chimaltenango Tierra Caliente, Salpor, Salpor Tardío, Salvadoreño, San Marceño, Olotillo, Olotón, Comitico, Dzit Bacal, Tehua, Tepecintle, Tusón, Tuxpeño
El Salvador, Honduras, Costa Rica, Nicaragua, Panamá (11)	Nal Tel Blanco, Nal Tel Amarillo, Nal Tel Rojo, Nal Tel Panamá, Clavillo, Salvadoreño, Negro, Chocoseño, Cariaco, Huesillo, Cubano Amarillo Cristalino
México (65:59 cotejadas; 6 imprecisas)	Ancho, Apachito, Arrocillo Amarillo, Arrocillo, Azul, Blandito, Blando Sonora, Bofo, Bolita, Cacahuacintle, Carmen, Celaya, Chalqueño, Chapalote, Clavillo, Comitico, Conejo, Cónico, Cónico Norteño, Coscomatepec, Cristalino Chihuahua, Complejo Serrano Jalisco, Cubano Amarillo, Dulce de Jalisco, Dulcillo Noroeste, Dzit Bacal, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Elotero de Sinaloa, Fasciado, Gordo, Harinoso, Harinoso de Ocho, Jala, Lady Finger, Maíz Dulce, Maízón, Motozinteco, Mushito, Nal Tel, Nal-Tel de Altura, Olotillo, Olotón, Onaveño, Palomero de Chihuahua, Palomero Toluqueño, Pepitilla, Ratón, Reventador, San Juan, Serrano de Jalisco, Tablilla, Tablilla de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Tehua, Tepecintle, Tunicata, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Vandeño, Xmejenal, Zamorano Amarillo, Zapalote Chico, Zapalote Grande
Paraguay (10)	Avatí Mita, Avatí Morotí, Avatí Ti, Avatí Guapí, Opaco, Pichinga Redondo, Sape Morotí, Sape Pyta, Tupí Morotí, Tupí Pyta
Perú (66)	Ajaleado, Alazán, Alemán, Amarillo Huancabamba, Ancashino, Arequipeño, Arizona, Arizona Mochero, Blanco Ayabaca, Cabaña, Capio, Chancayano, Chancayano Amarillo, Chancayano Blanco, Chancayano Pintado, Chaparpeño, Chimlos, Chullpi, Chuncho, Colorado, Confite Introducido, Confite Morocho, Confite Puneño, Confite Puntigudo, Coruca, Cubano Amarillo, Cubano Amarillo Piricincin, Cuban Yellow Dent, Cuzco, Cuzco Cristalino Amarillo, Cuzco Gigante, Enano, Granada, Híbrido Amarillo Duro, Huachano, Huancavelicano, Huarmaca, Huayleño, Jora, Kculli, Maraño, Mochero, Mochero Pagaladroga, Morocho Cajabambino, Morocho Canteño, Morocho, Opaco, Pagaladroga, Pardo, Pardo Amarillo, Paro, Perla, Perilla, Piricincin, Piscorunto, Rabo de Zorro, Rienda, Sabanero, San Gerónimo Huancavelicano, Sarco, Shajatu, San Gerónimo, Tambopateño, Tumbesino, Tuxpeño, Uchuquilla
Uruguay (8)	Cateto Sulino, Cristal, Dentado Branco, Dentado Rugoso, Morotí Amarillo, Morotí Blanco, Pisingallo, Semidentado Rugoso
Estados Unidos (16)	Argentino, Canilla, Cariaco, Chapalote, Confite Morocho, Corn Belt Dent, Creole, Early Caribbean, Haitian White, Northern Flint, Northern Flour, Palomero Toluqueño, Saint Croix, Southern Dent, Tuson, White PopCorn
Venezuela (19)	Aragüito, Cacao, Canilla Venezolano, Cariaco, Chandelle, Chirimito, Común, Costeño, Cuba Amarillo, Guaribero, Huevito, Negrito, Pira, Pollo, Puya, Puya Grande, Sabanero, Tusón, Tuxpeño

El estudio de la diversidad del maíz 1990 - al presente

En los 90 se acoplaron al análisis numérico, características genéticas y bioquímicas asociadas a factores que se consideraban de gran importancia agronómica en la protección del cultivo. Por medio del análisis del contenido de la sustancia química DIMBOA (2,4-dihidroxi-7-metoxi-(2H)-1,4-benzoxasin-3(4H)-ona), la evaluación de los daños causados por el insecto *Ostrinia nubilalis* (barrenador europeo) y por los hongos *Giberella zeae* y *Ustilago maydis*, Lana Reid y sus colaboradores⁴⁵ pudieron determinar que el grupo de maíz clasificado por Wellhausen y colaboradores como Mestizo Prehistórico (ver nota 34 inciso 1) era el más resistente al ataque del insecto y hongos evaluados. Este trabajo publicó una de las primeras caracterizaciones del germoplasma del maíz mexicano con relación a su resistencia a plagas y enfermedades, asociadas a

sustancias químicas secundarias de la planta de maíz.

Otros investigadores de la Universidad de Ottawa, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)⁴⁶, a partir del descubrimiento de factores de resistencia en razas nativas⁴⁷, exploraron la diversidad del maíz mexicano para clasificarlo con base en su resistencia a las plagas de postcosecha; encontraron que algunas razas de los grupos de maíz Indígenas Antiguos y Mestizos Prehistóricos, en la descripción de Wellhausen y colaboradores (nota 34, inciso 1), son fuentes de resistencia a la infestación del insecto *Sitophilus zeamais*, una de las plagas más destructivas del maíz en almacenamiento. Este tipo de estudios demostraron que

existe una gran riqueza, muy poco explorada⁴⁸, de características útiles en el germoplasma del maíz nativo mexicano y que, por supuesto, fácilmente se podría extrapolar a todas las razas del maíz en el continente americano.

Por otra parte, a principios de los 90s, los científicos Jesús Sánchez y Major Goodman (1992a, b) reeditaron la clasificación de la diversidad del maíz en Latinoamérica y la revisión de la descripción racial del maíz mexicano hecha por Wellhausen y sus colaboradores en 1952 (nota 34, inciso 1). En un trabajo semejante al que realizaron Cervantes y sus colaboradores (1978), Sánchez y Goodman (1992a) concluyen que la taxonomía convencional y la numérica concuerdan en la clasificación del maíz. En su estudio con las razas mexicanas logran definir con mayor precisión las razas que hasta ese entonces estaban indefinidas.

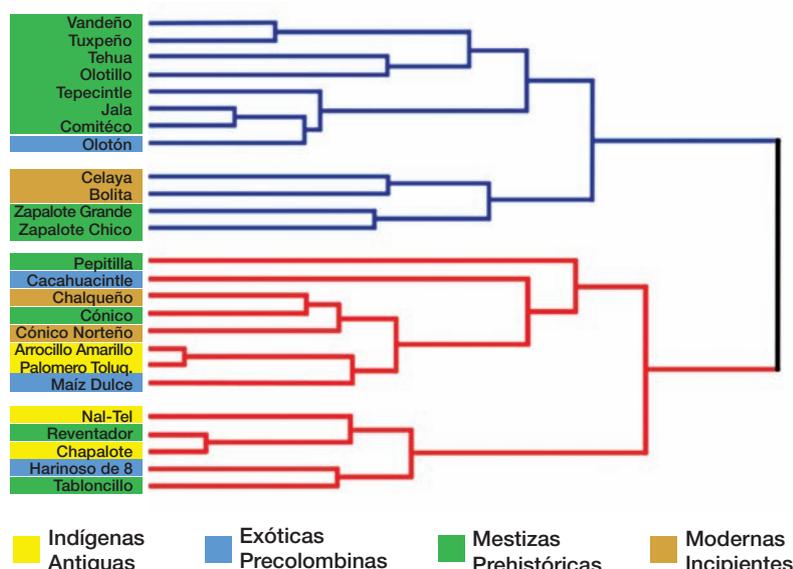


Figura 6. Clasificación de las razas de maíz mexicano. Las líneas en azul y rojo separan a los dos grupos principales de razas mexicanas generadas con datos de efectos genéticos e interacciones genotipo-ambiente. Como un elemento de comparación se incluyen los grupos descritos por Wellhausen y colaboradores (nota 34, inciso 1): Indígenas antiguas, Exóticas, Mestizas Prehistóricas y Modernas Incipientes. Modificado por Antonio Serratos con la información de las notas 34, 40 y 41.

⁴⁵ Reid L., Arnason J.T., Nozzolillo C., Hamilton R. 1990. "Taxonomy of Mexican landraces of maize, based on their resistance to European corn borer, *Ostrinia nubilalis*". *Euphytica*, Volumen 46; páginas 119-131.

⁴⁶ Arnason JT, Baum B, Gale J, Lambert JDH, Bergvinson D, Philogene BJR, Serratos A, Mihm J, Jewell DC. 1994. "Variation in resistance of Mexican landraces of maize to maize weevil *Sitophilus zeamais*, in relation to taxonomic and biochemical parameters". *Euphytica*, Volumen 74; páginas 227-236.

⁴⁷ Serratos A, Arnason JT, Nozzolillo C, Lambert JDH, Philogene BJR, Fulcher G, Davidson K, Peacock L, Atkinson J, Morand P. 1987. Factors contributing to resistance of exotic maize populations to maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Journal of Chemical Ecology* 13: 751-762.

⁴⁸ Sin embargo, se recomienda revisar los trabajos de Hernández Casillas (1986), Hernández-Xolocotzi (1988), González (1994) y García Lara y colaboradores (2003)





Características como las que se utilizaron para identificar las razas de maíz en los años 50, representan para el científico un reflejo de lo que sucede al nivel de los genes. Las diferencias o semejanzas en cualquier característica del maíz representan diferencias o semejanzas que tienen una base genética. Por lo tanto, analizar el ADN directamente representa un avance fundamental para el examen filogenético de los organismos. En años recientes la sistematización y el estudio de la diversidad del maíz se ha enriquecido con el empleo de técnicas de la biología molecular, con las que se ha complementado la caracterización del maíz en América. Así como para el estudio del origen del maíz, los marcadores moleculares han servido para profundizar en el conocimiento de las relaciones y asociaciones genéticas que existen en el germoplasma del cultivo.

Después del uso de isoenzimas y métodos fitoquímicos para el estudio de la diversidad y la clasificación de las plantas, algunos de los cuales se han mencionado en párrafos anteriores, se han empleado los marcadores moleculares para esos propósitos. Existen varios tipos de marcadores moleculares que se han usado para medir la diversidad del maíz y el principio en el que se basan es prácticamente el mismo. Estos marcadores o "características" de las secuencias en el ADN, para poder ser utilizados en el seguimiento de los patrones de la herencia en los organismos, deben ser polimórficos, esto es, deben tener variaciones para distinguirlos entre los individuos que los poseen y poder rastrearlos en la progenie de los individuos que se estudian. Un ejemplo de marcadores moleculares son los

Polimorfismos en la Longitud de los Fragmentos de Restricción (en inglés, RFLP por Restriction Fragment Length Polymorphisms) que fueron de los primeros que se emplearon en estudios de genética molecular. Con el desarrollo de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (en inglés, PCR Polymerase Chain Reaction), una técnica bioquímica que revolucionó el campo de la genética molecular, se han podido implementar otra serie de marcadores moleculares que actualmente se han convertido en la técnica preferida de los genetistas moleculares.

A manera de ilustración, supongamos que estamos analizando por medio de RFLP las razas de maíz mexicano Palomero, Jala y Tuxpeño y deseamos establecer su afinidad filogenética (ver figura 7). Supongamos que al extraer su ADN y procesarlo por métodos bioquímicos obtenemos una serie de fragmentos que identificamos al separarlos por medio de sus propiedades químicas, y su peso, en un gel por el que pasa una corriente eléctrica. Al teñir los fragmentos inmovilizados en el gel, se pueden reconocer patrones de los diferentes tamaños de ADN. Con esos datos se pueden generar diagramas de asociaciones que permiten establecer relaciones filogenéticas. Aún cuando hemos simplificado el proceso de análisis genético y molecular, se han conservado los fundamentos esenciales de la metodología biotecnológica usada en la investigación de la diversidad del maíz. Con estos elementos podemos seguir los estudios más representativos que en la actualidad se realizan con el apoyo de la biología molecular.

Con metodologías moleculares, semejantes a las ilustradas con el ejemplo de la Figura 7, se han realizado investigaciones recientes con el objetivo de describir la diversidad del maíz. Así, se han reevaluado los recursos genéticos de maíz en Brasil⁴⁹, en el cual, por medio del estudio molecular de 79 razas nativas de ese país, se pudo definir que el manejo que realizan los campesinos contribuye al mantenimiento de la variabilidad genética, además de que la identidad de las razas se preserva. Esta conclusión converge con la mayoría de las investigaciones sobre la diversidad del maíz en varios países, y en diferentes tiempos, en el sentido de la asociación del campesino con la diversidad del maíz.

Otro estudio molecular, realizado por Joanne Labate y sus colaboradores, describe la diversidad del maíz dentado en la franja maicera de Estados Unidos⁵⁰ con una perspectiva histórica de su germoplasma. En ese país la diversidad del maíz es muy limitada en la actualidad, pero aún así en sus bancos de germoplasma se mantienen cientos de variedades que reflejan la diversidad original de sus maíces nativos. Por medio de los métodos moleculares empleados en su análisis, Labate y su equipo comprueban la divergencia y características distintivas de los dos grandes grupos que conforman el germoplasma del maíz en Estados Unidos: el maíz cristalino y el dentado. Para esos investigadores es claro que, además del conocimiento histórico de su germoplasma, la descripción de la variabilidad genética del maíz permite un mejor uso del germoplasma para propósitos prácticos de mejoramiento genético.

Como hemos comentado, la diversidad del maíz ha sido reconocida desde los primeros estudios de las razas en América, mencionados en los folletos auspiciados por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (ver nota 34). El análisis de la variabilidad del germoplasma, desde los estudios morfológicos, botánicos y posteriormente los estudios de isoenzimas y fitoquímicos, dan cuenta de la gran diversidad del maíz. Con las metodologías moleculares, no sólo se han definido relaciones filogenéticas, sino también se ha confirmado esa diversidad del germoplasma y ha permitido su sistematización taxonómica. Con todos esos elementos, conjuntados a lo largo de muchos años de investigación científica, se ha podido reconocer –como lo demuestra, entre otros, el trabajo de Matzuoka y su grupo (2001)– el recorrido histórico del maíz a lo largo y ancho del continente americano. La evidente variabilidad del germoplasma de maíz del continente ha llevado a muchos científicos a preguntarse cómo se logró la evolución y diversificación del maíz bajo domesticación, desde su origen hasta la actualidad. Como podemos observar esta pregunta nos lleva directamente a un aspecto fundamental del estudio del maíz en el que se conjuntan las ciencias sociales y naturales, la intervención humana en todo este proceso y el desarrollo de la cultura (o agricultura) del cereal representativo de América.

⁴⁹ Carvalho VP, Ruas CF, Ferreira JM, Moreira RMP, Ruas PM. 2004. Genetic diversity among maize (*Zea mays* L.) landrace assessed by RAPD markers.

⁵⁰ Labate JA, Lamkey KR, Mitchell SE, Kresovich S, Sullivan H, Smith JSC. 2003. Molecular and historical aspects of corn belt dent diversity (*Aspectos moleculares e históricos de la diversidad del maíz dentado de la franja maicera*). *Crop Science* 43: 80-91.

A la izquierda Maíz azul tierno, Edo. de México, a la derecha Maíz azul de Oaxaca / © David Lauer



La migración del maíz y su diversificación en América

La domesticación es un proceso dirigido por el ser humano. Para investigadores como el doctor Antonio Turrent⁵¹, el proceso de mejoramiento genético realizado por los campesinos en las comunidades rurales e indígenas de la mayor parte de México, desde tiempos remotos, es un proceso continuo que llega hasta el presente. Como recordaremos, el factor humano es clave en cualquiera de las teorías sobre el origen del maíz para explicar su evolución en condiciones de domesticación. Aunque uno de los argumentos en contra del teocintle como ancestro del maíz radica en su aparente poco atractivo como alimento y su baja productividad, un equipo coordinado por George Beadle⁵² en los años 70 pudieron determinar que el teocintle cumplía satisfactoriamente en rendimiento y podía ser utilizado para alimentación en condiciones experimentales “primitivas”. Por lo tanto, Beadle consideró que la intervención humana en la evolución del teocintle bajo domesticación es un factor determinante para explicar la

transformación de las espigas del teocintle en la mazorca del maíz y su posterior diversificación. En la Figura 8 se integran los datos de las principales fuentes de información del maíz nativo de América, para ilustrar las regiones en las que se encuentra distribuida la diversidad de razas en el continente (Cuadro 1).

En la explicación de la diversificación temprana del maíz en América utilizaremos los escenarios descritos por Robert Bird⁵³, en los que sintetiza toda la información derivada de las investigaciones y la exploración del maíz en América que se tenía hasta principios de los 80s. Bird establece la evolución del maíz, en un horizonte de 2 mil 500 años, ligada a la historia cultural de Mesoamérica y Sudamérica, y propone la correlación de los estudios morfológicos y citogenéticos de las razas y complejos raciales del maíz con ciertos rasgos generales de las civilizaciones y grupos humanos en el continente. Sin olvidar la compleja interacción de los primeros tipos de maíz y teocintle en etapas tempranas de la diversificación de las razas, en

las cuales podríamos suponer que la intervención humana fue menor, Bird identifica y define los complejos raciales de maíz característicos de las diferentes regiones culturales del continente. Por sus rasgos culturales y ambientales particulares, Bird describe seis regiones principales como se indica en el Cuadro 2.

Con base en la información y el análisis de los complejos raciales, Bird avanza la hipótesis de la diversificación de los complejos raciales en las diferentes regiones del continente a partir de siete tipos ancestrales y la introgresión del teocintle. Aunque esta hipótesis no fue desarrollada con investigaciones posteriores, en el presente trabajo la información y el análisis de Robert Bird sirve como referencia para el conocimiento de las diferentes regiones del continente en relación con la diversidad del maíz (Figura 8).

⁵¹ Turrent A, Serratos JA. 2004. Context and Background on Maize and its Wild Relatives in Mexico; *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*. CCA, Montreal Canadá. 55 pp.

⁵² En colaboración con los investigadores Garrison Wilkes, Mario Gutiérrez, Robert Drennan y Rafael Ortega y con apoyo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo en México

⁵³ Bird, RMck. 1980. "Maize Evolution from 500 BC to the present". *Biotropica*, Volumen 12, Número 1, páginas 30-41.

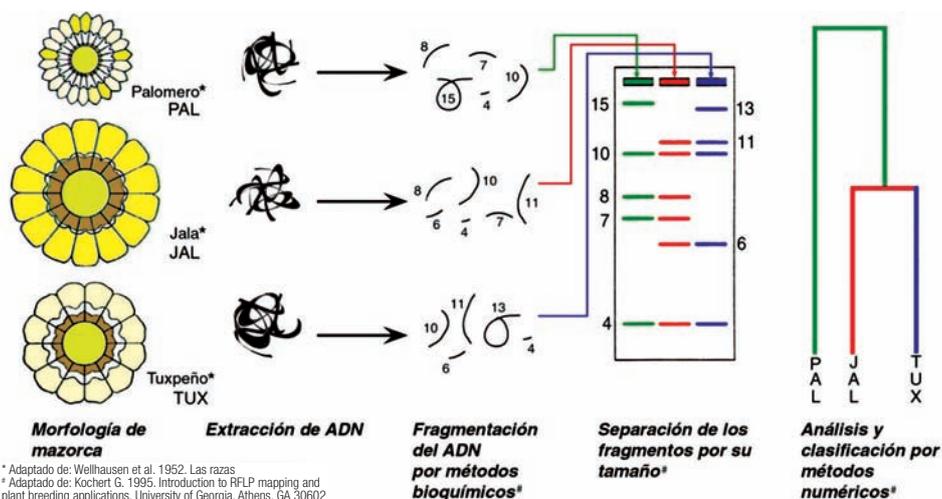


Figura 7. Ilustración de la metodología molecular que se emplea para analizar la afinidad genética entre individuos y poblaciones. Explicación en el texto. Elaborada por Antonio Serratos con las referencias indicadas en la ilustración.

En su análisis de las razas de maíz de norte y sur de América, Sánchez y Goodman⁵⁴ fortalecen las conclusiones de las investigaciones realizadas en los 80 con relación a los senderos de dispersión del maíz en el continente. Además, aportan datos complementarios de la relación de los maíces palomeros de México con los de América del Sur; de la relación de la raza Nal-Tel con los maíces dentados tropicales del área caribeña de Colombia y Venezuela, así como de la afinidad de los maíces cristalinos del noroeste mexicano con los cristalinos norteños de Estados Unidos. Una asociación taxonómica interesante que se encontró en ese trabajo fue la afinidad morfológica y genética de las razas del altiplano de México y Guatemala, con el maíz del altiplano del Ecuador y Colombia. Estos datos estarían apoyando los estudios de Wellhausen y colaboradores, en el sentido de la descripción del maíz tipo Cacahuacintle como un maíz exótico antiguo en la región mesoamericana. Sin embargo, estudios recientes no coinciden con ese resultado.

Con relación a la descripción de la diversificación del maíz hacia el norte de América, el estudio de Labate y sus colaboradores informa que los maíces más antiguos en Estados Unidos son los cristalinos norteños y se remontan a 1000 años AC. Estos maíces se han rastreado en el suroeste de los Estados Unidos y se reconoce que de ahí se difundieron hacia el noreste por las Grandes Praderas hasta el año 1000 de nuestra época, tiempo en el que quedaron bien establecidos en esa región. El otro componente del maíz en Estados Unidos, el maíz dentado, fue introducido por los españoles en el siglo XVI y lo constituían razas de maíz mexicano (ver Cuadro 1).

En el estudio de Matsuoka y sus colaboradores (2001), además de proponer la domesticación unicéntrica del maíz se definen las relaciones filogenéticas de las razas de maíz en América. En ese estudio se incluyeron 193 tipos de maíz y 71 de teocintle representativos de todas las regiones del continente, desde el noreste de Estados Unidos y Canadá hasta el sur

de Brasil y el centro-norte de Argentina, con un rango muy amplio de altitudes y condiciones agroecológicas. Con los resultados del análisis numérico de marcadores moleculares (Figura 7), Matsuoka y su grupo proponen una explicación de la diversificación del maíz en América. Postulan que los maíces más antiguos son los del altiplano mexicano en donde se diversificaron con la interacción del *teocintle Zea mexicana* y desde ahí se dispersaron hacia todo el continente americano: "Uno de los senderos se puede rastrear a través del oeste y norte de México hacia el suroeste de los Estados Unidos, y de ahí al este de Estados Unidos y Canadá. El segundo sendero se dirige fuera del altiplano hacia las tierras bajas del oeste y sur de México, de ahí hacia Guatemala, las islas del Caribe, las tierras bajas de Sudamérica y finalmente las montañas de los Andes"⁵⁵.

⁵⁴ Sánchez-González, J.J. and M.M. Goodman. 1992a. Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46(1): 72–85. Sánchez-González, J.J. and M.M. Goodman. 1992b. Relationships among Mexican and some North American and South American races of maize. *Maydica* 37: 41–51.
⁵⁵ Página 6083 en: Matsuoka y col. 2001. PNAS USA 99(9): 6080-6084.

Cuadro 2. Grupos de complejos raciales representativos de las macro regiones geográficas de América, y sus características culturales generales. Elaborado por Antonio Serratos con información de Bird (nota 53).

Región y características culturales	Complejos raciales
1. Andes Centrales. Por arriba de los 1800 msnm desde el norte centro de Perú hasta el noroeste de Argentina. Los lenguajes predominantes son el Quechua y el Aymara.	Harinosos Redondos de los Andes Centrales, Harinosos Pequeños del Altiplano, Cristalinos Pequeños del Altiplano, Cristalinos Bolivianos, Confite Morocho, Chutucuno Chico
2. Cuenca Sur y Oeste del Amazonas. Cubre un arco desde Paraguay hasta Venezuela en la región de los bosques tropicales. Grupo diverso de tribus.	Harinosos Imbricados del Amazonas, Palomeros Elongados Paraguayos, Morotí Camba
3. Los Andes Norteños y el Altiplano Centroamericano. Comprende desde el norte de Perú (Huánuco), Colombia y Venezuela hasta Guatemala. Los lenguajes predominantes son el Chibcha y Paezan en el norte Andino y el Maya en el altiplano guatemalteco.	Cristalinos del Norte Andino, Pollo Serrano, Montaña, Rienda-Clavo
4. Caribe y Tierras Bajas. Costas desde Venezuela hasta Belice y las islas caribeñas. Las tribus caribeñas tienen una organización social más compleja en comparación con las tribus de los bosques tropicales.	Dentados Anchos Caribeños, Harinosos del Bajío Tropical, Canilla-Chandelle, Palomeros Redondos Caribeños
5. El Altiplano Central Mexicano o Mesa Central. Distrito Federal, Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos y Puebla. Tres de las más importantes civilizaciones de Mesoamérica: Teotihuacanos, Toltecas y Aztecas. Al menos alguna influencia comercial y cultural desde el noroeste de México hasta Nicaragua.	Dentados Cónicos Mexicanos, Palomeros
6. El Este de Estados Unidos. Bosques orientales de Estados Unidos, las Dakotas y Carolinas.	Cristalinos Norteños

Los pueblos, las culturas de América y la diversidad del maíz

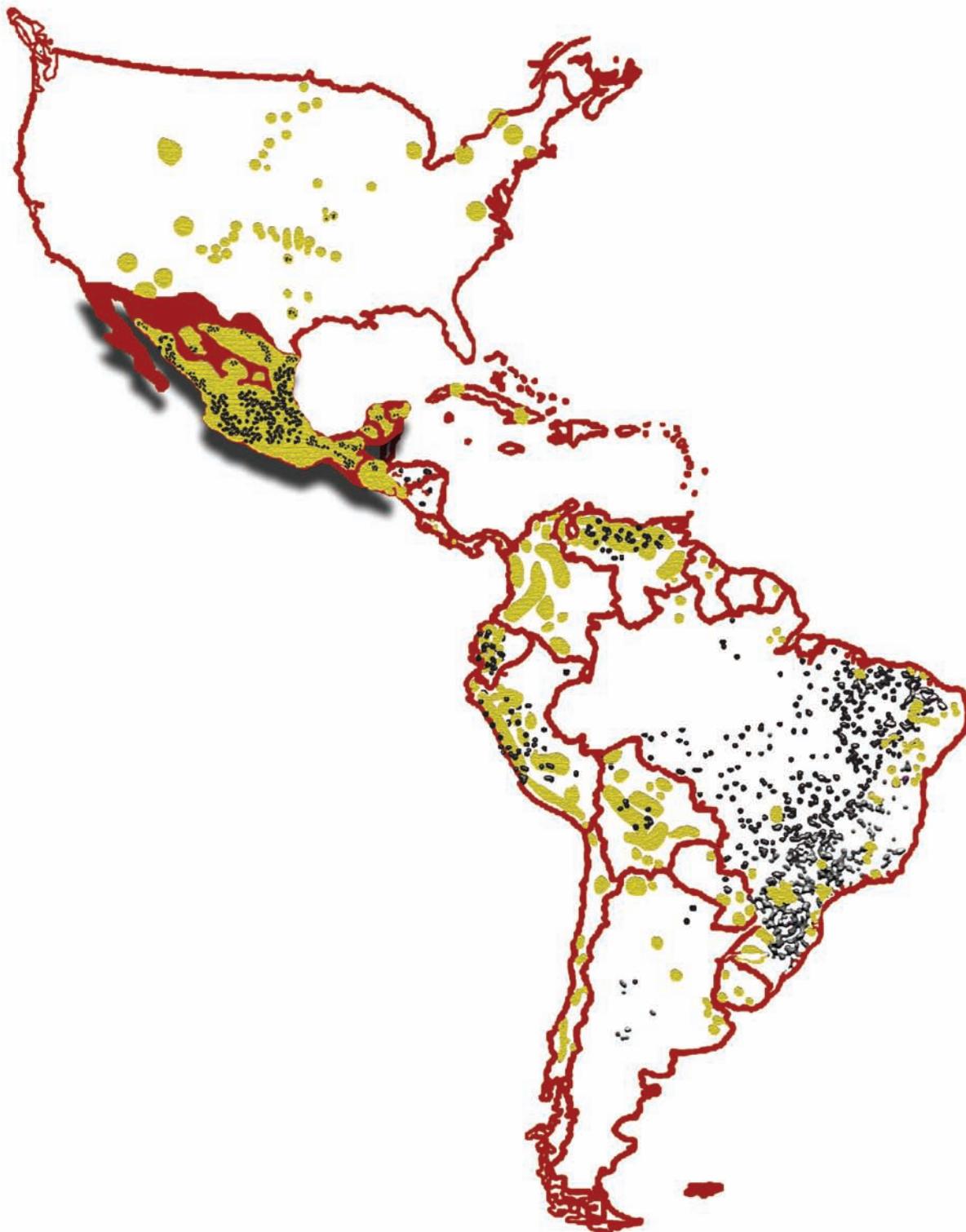


Figura 8. Distribución de las razas de maíz en el continente americano. Las áreas en verde corresponden a las zonas en las que se ha colectado el germoplasma nativo. Los puntos en negro son las zonas de producción de maíz en América Latina en la actualidad. Elaborado por Antonio Serratos con información de diversas fuentes⁵⁸.

La asociación de las diferentes culturas del continente americano con el cultivo del maíz se ha establecido desde los mitos fundadores de estas civilizaciones, en particular las mesoamericanas, que nos dan cuenta de esa estrecha relación. Enrique Florescano nos cuenta la historia de esas leyendas que dan aliento al desarrollo de los pueblos y las culturas de México. Según Florescano, la cultura Olmeca fue el primer pueblo que se fundó en el cultivo del maíz y sus mitos, entre 1500 y 3000 a.C.⁵⁶. Así, refiere el especialista, los Olmecas heredan Quetzalcoatl, el primer dios del maíz, a las demás culturas de Mesoamérica. Con modificaciones y adaptaciones, los mayas, teotihuacanos, toltecas, mixtecas y mexicas expresan en sus historias y mitos de origen al maíz como elemento fundamental de vida para el ser humano. Desde la búsqueda y redescubrimiento del maíz como sustento del pueblo, que cuenta la *Leyenda de los soles* de los mexicas, pasando por la creación del ser humano con masa de maíz de los mayas-quichés, hasta la representación del maíz como eje del mundo entre los mayas y mexicas, todas éstas son manifestaciones de la unidad y continuidad de los mitos fundacionales de las culturas mesoamericanas, según explica Miguel León-Portilla⁵⁷.

Por otra parte, en la región andina de Sudamérica, el imperio Inca logró un grado muy avanzado de agricultura en el que el maíz jugó un papel importante. Para Grobman y sus colaboradores⁵⁸, el procedimiento de selección masal, empleado en etapas tempranas del desarrollo del pueblo Inca, fue suficiente para lograr la gran variación de formas y colores que poseen los maíces de esa región.

Más adelante, con la consolidación de la confederación incaica y una organización estatal compleja, las razas de maíz para usos específicos florecieron con el impulso de técnicas agrícolas avanzadas como las terrazas, irrigación, siembra en surcos y fertilización que eran empleadas por los incas y otras culturas andinas a la llegada de los españoles. En este sentido, no es sorprendente que el número de razas catalogadas para Bolivia o Perú sean de las mayores de América, aunque por la variación de tipos en cada raza, es en México en donde se encuentra la mayor cantidad de colectas o accesiones. Con esta información podemos imaginar que el flujo, intercambio y adopción de maíz a través de todo el continente debió haber sido espectacular desde épocas tempranas de la domesticación del maíz, como lo comprueban los hallazgos de mazorcas arqueológicas en Guilá Naquitz, Oaxaca,⁶⁰ con una edad de 5 mil 400 años, y el polen arqueológico de aproximadamente 5 mil 100 años de antigüedad, encontrado en San Andrés, Tabasco,⁶¹ ambos en México, y los fitolitos de maíz en la Amazonia ecuatoriana⁶², fechados con 5 mil 300 años a.C.

Al terminar la conquista e iniciar la época colonial, en toda América se disgregaron las relaciones de poder existentes y con ello cambiaron las estructuras comunitarias en todas las regiones del continente. Sin embargo, podemos imaginarnos que las comunidades ligadas a la producción del maíz sufrieron un proceso más lento de cambios en su estructura y relaciones sociales, lo que permitió una continuidad en la interacción de los campesinos con el maíz y sus formas ancestrales de cultivo y producción.

⁵⁶ Florescano, E. 2003. "Imágenes y significados del dios del maíz"; *Sin maíz no hay país*, Esteva G, Marielle C (coord), Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, CONACULTA, México, DF.

⁵⁷ León-Portilla, M. "Mitos de los orígenes en Mesoamérica". *Arqueología Mexicana*, Volumen X, Número 56, páginas 20-29. Editorial Raíces-INAH.

⁵⁸ Bird, ver Nota 53; Turrent y Serratos, ver Nota 51; Matsuoka y col., ver Nota 31; Varios autores, ver Notas 34 y 37; McClintock, B, Kato Y. TA and A. Blumenschein, 1981. *Chromosome Constitution of Races of Maize. Its Significance in the Interpretation of Relationships between Races and Varieties in the Americas*. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mexico; CIMMYT, Programa de Recursos Naturales.

⁵⁹ Ver Nota 34, inciso 5.

⁶⁰ Benz BF. 2001. "Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz, Oaxaca". *PNAS* Volumen 98, Número 4, páginas 2104–2106. Este trabajo demuestra que la selección agrícola del teocinte domesticado se practicó desde hace más de 4 mil años a.C. En otro artículo, Dolores Piperno y Kent Flannery ("The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications", *PNAS* 2001, Volumen 98, Número 4; páginas 2101–2103), con los resultados obtenidos en la misma localidad de Guilá Naquitz, concluyen que las prácticas culturales que llevaron a la domesticación del maíz sucedieron en alguna otra parte de México.

⁶¹ Pope, KO, Pohl MED, Jones JG, Lentz DL, von Nagy C, Vega FJ, Quitmyer IR. 2001. "Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica". *Science*, Volumen 292, páginas 1370–1373.

⁶² 1) Bush MB, Piperno DR, Colinvaux PA. 1989. "A 6000 year history of Amazonian cultivation". *Nature*, Número 340, páginas 303-305; 2) Tykot RH, Staller JE. 2002. The importance of early maize agriculture in coastal Ecuador: New data from La Emerenciana. *Current Anthropology*, Volumen 43, Número 4, páginas 666 – 677.

Cuadro 3. Razas catalogadas en México. *Entre paréntesis está el número de colectas registradas en el catálogo LAMP (1991). **Los grupos están como se describe en Sánchez y Goodman (1992a).

Estado*	Razas catalogadas de Maíz (Cárdenas, F. en Taba 1995a)
Aguascalientes (59)	Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos
Baja California Sur (11)	Tuxpeño, Tabloncillo Perla
Campeche (182)	Dzit-Bacal, Nal-Tel, Clavillo
Chihuahua (348)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Bolita, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, Palomero, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Tuxpeño Norteño, Azul, Lady Finger, Blandito, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Tehua, Apachito, Maizon
Chiapas (795)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo Perla, Dzit-Bacal, Vandeño, Nal-Tel, Tepecintle, Oloton, Zapalote Chico, Zapalote Grande, Clavillo, Comiteco
Coahuila (124)	Tuxpeño, Celaya, Cónico Norteño, Elotes Occidentales, Tuxpeño Norteño, Tehua
Colima (29)	Tuxpeño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Vandeño, Jala
Durango (270)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Bolita, Pepitilla, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Bofo, Blandito de Sonora, Blandito, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Tablilla, Tunicata
Guerrero (383)	Tuxpeño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo, Reventador, Vandeño, Nal-Tel, Pepitilla, Mushito, Tepecintle, Ancho, Conejo
Guanajuato (370)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Reventador, Maíz Dulce, Mushito, Fasciado
Hidalgo (236)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Bolita, Dzit-Bacal, Mushito, Cacahuacintle, Arrocillo Amarillo, Olotón, Arrocillo
Jalisco (683)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Bolita, Vandeño, Pepitilla, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, San Juan, Azul, Jala, Zamora, Complejo Serrano de Jalisco
Estado de México (724)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Bolita, Pepitilla, Cacahuacintle, Palomero, Arrocillo Amarillo, Ancho, Azul
Michoacán (528)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Reventador, Dzit-Bacal, Vandeño, Pepitilla, Maíz Dulce, Mushito, Cacahuacintle, Palomero, Conejo, Zamora
Morelos (165)	Tuxpeño, Chalqueño, Olotillo, Tabloncillo, Vandeño, Pepitilla, Tuxpeño Norteño, Ancho
Nayarit (336)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Vandeño, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, Bofo, Jala, Tablilla de Ocho

Nuevo León (118)	Tuxpeño, Cónico Norteño, Tabloncillo, Tablilla de Ocho
Oaxaca (562)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Olotillo, Bolita, Vandeño, Nal-Tel, Mushito, Tepecintle, Olotón, Conejo, Zapalote Chico, Zapalote Grande
Puebla (943)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Bolita, Pepitilla, Mushito, Cacahuacintle, Palomero, Arrocillo Amarillo, Arrocillo
Quintana Roo (132)	Tuxpeño, Olotillo, Dzit-Bacal, Nal-Tel, Tepecintle
Querétaro (115)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Bofo, Onaveño, Fasciado
Sinaloa (187)	Tuxpeño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Maíz Dulce, Harinoso de Ocho, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Blandito de Sonora, Lady Finger, Onaveño, Chapalote, Harinoso
San Luis Potosí (206)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Tabloncillo, Dzit-Bacal, Harinoso de Ocho
Sonora (183)	Tuxpeño, Tabloncillo, Reventador, Tabloncillo Perla, Nal-Tel, Harinoso de Ocho, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Blandito de Sonora, Lady Finger, Onaveño, Chapalote
Tabasco (35)	Tuxpeño, Olotillo, Vandeño, Nal-Tel, Zapalote Grande
Tamaulipas (148)	Tuxpeño, Dzit-Bacal, Carmen
Tlaxcala (332)	Cónico, Chalqueño, Elotes Cónicos, Cacahuacintle, Palomero, Arrocillo Amarillo, Arrocillo
Veracruz (741)	Tuxpeño, Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Bolita, Dzit-Bacal, Nal-Tel, Pepitilla, Mushito, Cacahuacintle, Palomero, Tepecintle, Arrocillo Amarillo, Olotón, Coscomatepec
Yucatán (249)	Tuxpeño, Olotillo, Dzit-Bacal, Nal-Tel, Tepecintle, Zapalote Chico, Xmenejal
Zacatecas (263)	Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Bolita, Maíz Dulce, San Juan, Dulcillo del Noroeste, Bofo, Tablilla



Figura 9. Distribución de las razas de maíz en México por estado.



Por la persistencia de las aproximadamente 300 razas de maíz en el continente, podemos afirmar que la cultura indígena-campesina en las comunidades de los pueblos originarios y, posteriormente, junto con los agricultores mestizos y criollos, fue un factor fundamental para la supervivencia de sus culturas y la diversidad del maíz. En otras palabras, el maíz constituyó el soporte de la resistencia indígena durante más de 500 años, después de la destrucción de sus formas de vida ancestrales.

El maíz y los pueblos indígenas y campesinos han tenido desde entonces, y tienen hasta ahora, una relación muy estrecha que ha convertido a los campesinos en guardianes de esa riqueza genética. Por ejemplo, al revalorar la agricultura tradicional indígena de México, Ekhart Boege⁶³ presenta la asociación entre los pueblos indígenas que existen en la actualidad y la diversidad del maíz que poseen cada uno de estos grupos étnicos. Un estudio de Perales y su grupo⁶⁴, acerca de la diversidad de maíz en correlación con la diversidad etnolingüística entre los tzeltales y tzotziles de Chiapas, concluye que la diferenciación y preservación de las razas de grupos étnicos particulares está relacionada con el lenguaje y, por ello, con la cantidad de información confiable que cada campesino puede utilizar en la conservación de su patrimonio para el cultivo y producción de “su maíz”. Es en este tipo de estudios donde se aprecia el valor de las colectas de maíz que hemos descrito en otras secciones y la cultura que se desarrolla alrededor de ellas. Así, las colectas se convierten en líneas de base para estudios desde diferentes disciplinas, que

contribuyen al mejor conocimiento y valorización del maíz y su diversidad, y dan cuenta de la importancia del manejo campesino para el desarrollo y la diversidad del maíz.

Desde la perspectiva biológica, los mecanismos íntimos de la diversificación se han estudiado para comprender la diversidad morfológica sobre la cual trabaja directamente el campesino, y “conservar el potencial de selección del maíz en el largo plazo”⁶⁵. Con el objetivo de conocer los mecanismos evolutivos del maíz en los ecosistemas agrícolas tradicionales, Gael Pressoir y Julien Berthaud, en dos trabajos de investigación, evaluaron la diversidad genética, los factores agroecológicos y el manejo campesino de la semilla en seis comunidades en los Valles Centrales de Oaxaca. Además, describen el impacto de la selección que hace el campesino en la diferenciación y diversificación del maíz. Lo que ellos concluyen es que en esas comunidades la distancia no influye en el aislamiento de las poblaciones de maíz y que existe un alto grado de flujo de semillas dentro y entre las comunidades, con lo cual se asegura el mantenimiento de la diversidad del maíz. La gran variación del intervalo de floración y antesis es un factor muy importante para la estructuración de la población y explica, en parte, la evolución morfológica del maíz en esa región de Oaxaca.

⁶³ Boege-Schmidt E. 2006. “Territorios y diversidad biológica. La agrobiodiversidad de los pueblos indígenas de México”; *Biodiversidad y conocimiento tradicional en la sociedad rural*, Concheiro Bórquez L y López Barcenás F (coord.). Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, LX Legislatura, Congreso de la Unión, México.

⁶⁴ Perales H, Benz BF, Brush SB. 2005. “Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico”. *PNAS Volumen 102*, Número 3, páginas 949-954.

⁶⁵ 1) Pressoir G, Berthaud J. 2004. “Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico”. *Heredity*, Volumen 92; páginas 88-94. 2) Pressoir G, Berthaud J. 2004. “Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces”. *Heredity*, Volumen 92; páginas 95-101.

Análisis y perspectivas de la diversidad del maíz en el continente americano

A través de la historia del estudio y exploración de la diversidad del maíz, podemos observar que existen dos grandes estrategias de conservación de esos recursos: la colecta y resguardo de muestras de maíz en bancos de germoplasma o conservación *ex situ*, y la conservación *in situ*, que implica el fomento y apoyo de la reproducción de las condiciones sociales y ambientales del campesino que le permitan la conservación del maíz.

Desde los trabajos pioneros del comité de preservación del maíz de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos es evidente que su estrategia de conservación está enfocada hacia la colección extensiva y exhaustiva de los recursos genéticos de maíz. Podemos observar que desde los reportes técnicos de las razas de maíz en los países de América Latina (nota 34), el esfuerzo de investigación se concentró en los aspectos botánicos, genéticos, agronómicos y tecnológicos del germoplasma del maíz. Aunque en esos folletos se menciona la importancia de los campesinos en la diversificación y conservación del grano, no se profundiza en ese factor y en realidad se coloca al campesino y su sistema agrícola como contexto del maíz. Esta estrategia no podría ser de otra forma si tomamos en cuenta el sendero tecnológico que se construía en Estados Unidos desde entonces. En ese país, la implementación y adopción de los híbridos de maíz se había fomentado desde principios del siglo XX y todo el sistema de investigación se había concentrado alrededor de esta tecnología. Las políticas públicas y los apoyos económicos directos desde el

gobierno permitieron que se generara una gran concentración en el control de la producción del maíz a través de toda la franja maicera de Estados Unidos. En un trabajo clásico en economía agrícola, Zvi Griliches describe el proceso de adopción de híbridos en Estados Unidos. En él se describe lo que en el capitalismo se considera paradigma del proceso de innovación tecnológica, el proceso de adopción y distribución de invenciones particulares a diferentes mercados y la tasa de aceptación de estos procesos entre los empresarios⁶⁶. En este sentido, el sendero agrotecnológico de Estados Unidos concibe los recursos genéticos y la conservación *ex situ* como capital de reserva en bancos de germoplasma para aplicaciones industriales y como seguro de riesgos a futuro. La preservación del maíz se realiza, entonces, a través de la enajenación de los recursos genéticos de los campesinos, generados durante siglos de trabajo comunitario.

Con base en la estrategia general de la producción de maíz, que descansa en el uso intensivo de híbridos y el resguardo de material genético nativo, ese modelo se exporta a la periferia de los países desarrollados. De esta forma, se inician las exploraciones de la diversidad del maíz en América Latina y se generan las bases de recursos que conforman los primeros bancos de germoplasma de maíz en México, Colombia, Brasil y Perú, alrededor de los cuales regularmente trabajan redes regionales de recursos fitogenéticos o continentales como el Proyecto Latinoamericano del Maíz. Este proyecto representó el esfuerzo más robusto para concentrar la

información de la diversidad del maíz en el continente. Aunque basado en la estrategia de investigación agrícola de Estados Unidos, su importancia estratégica es incuestionable, ya que es una pieza fundamental del análisis y fuente de información agronómica de las colecciones núcleo de la diversidad del maíz en América. No podemos negar el gran valor que tiene la conservación *ex situ*, sin embargo, para desarrollar todo su potencial es necesario incorporar la información de los propios campesinos y como un servicio prioritario, permitir el acceso preferencial a su maíz para programas y proyectos de aprovechamiento.

Todos los estudios del maíz y su relación con los sistemas agrícolas tradicionales demuestran que el manejo de los campesinos y grupos étnicos en diferentes partes de América es fundamental para la continuidad de la diversidad del cultivo. Esto se ha reconocido durante décadas, pero no se ha sido consecuente con la atención a los programas de conservación *in situ* que permitirían la sustentabilidad y viabilidad de los sistemas agrícolas tradicionales o de tipo agroecológico. Este tipo de agricultura y la investigación relacionada con ella, ha tenido diferentes etapas y grados de éxito. Sin embargo, la investigación de “abajo hacia arriba”, esto es, con la participación del campesino y de tipo alternativo, siempre ha sido marginal con relación a la investigación agrícola dominante.

⁶⁶ Griliches Z. 1957. "Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change". *Econometrica*, Volumen 25, Número 4, páginas 501–522.

A pesar de los esfuerzos que, en diferentes épocas, y por parte de diversas organizaciones nacionales e internacionales, se han realizado para la conservación de los recursos genéticos de maíz y las comunidades en las que se encuentran, no se ha podido lograr un mayor impacto en el conjunto del sector agrícola. Este problema se agrava en el caso del maíz, porque en Latinoamérica los recursos destinados al campo son cada vez más escasos.

Asimismo, los modelos de desarrollo son acriticamente copiados de países industrializados con condiciones muy distintas a los países que los adoptan, con lo cual se generan problemas de tipo social, económico y ambiental. El deterioro de las condiciones sociales, económicas y políticas del sector agropecuario, en general, y campesino, en particular, pone en riesgo la diversidad del maíz en todas las regiones del continente americano. Es necesario enfatizar que la pieza clave para la solución de esta problemática es la conservación del modo de producción campesino y quienes lo conforman. No se puede seguir soslayando que la protección de la diversidad del maíz del continente requiere del fortalecimiento de la sociedad rural que vive del campo y que es necesario que siga en él, pero en mejores condiciones para impedir que lo abandone. Implementar formas de protección *in situ* de la diversidad del maíz requiere considerar situaciones mucho más complejas, que necesitan del apoyo gubernamental para poder desarrollarse, y que involucra a

actores políticos y sociales que requieren del impulso de programas oficiales que permitan iniciar acciones de organización social y trabajo comunitario.

Los pueblos indígenas y campesinos en los que descansa la supervivencia de la diversidad del maíz están amenazados por factores económicos que los desplazan de sus territorios y los obligan a emigrar en busca de mejores condiciones de vida. La destrucción del tejido social en esas comunidades aumenta el riesgo de extinción del maíz y su diversidad al alterar el factor clave de su mantenimiento: campesinos, indígenas y productores agroecológicos. En este escenario, es indispensable pasar a una nueva fase en la que se contemple una revalorización del maíz en todo el continente americano, como eje aglutinador de la defensa y sustentabilidad de los territorios rurales campesinos e indígenas. Por todas las evidencias científicas, sociales y humanísticas que se han analizado, y que nos demuestran que la diversificación del maíz es un proceso que se llevó a cabo en todas las regiones y por todas las civilizaciones de América, es necesario revalorar el significado del maíz en el continente. Podemos decir: El maíz es, como lo expresaron olmecas, mayas, aztecas o incas, el eje de la vida de los pueblos de América y, por lo tanto, debe ser considerado el cultivo emblemático de este continente. La protección del maíz debe ser una tarea que involucre a los pueblos de América, independientemente de las fronteras políticas que los separen.

Referencias

- Anderson E, Cutler H. 1942. Races of *Zea mays* I: their recognition and classification. *Ann Missouri Bot Gard*, 21: 69–88
- Arnason TJ. 1936. Cytogenetics of hybrids between *Zea mays* and *Euchlaena mexicana*. *Genetics* 21: 40-60
- Arnason JT, Baum B, Gale J, Lambert JDH, Bergvinson D, Philogene BJR, Serratos A, Mihm J, Jewell DC. 1994. Variation in resistance of Mexican landraces of maize to maize weevil *Sitophilus zeamais*, in relation to taxonomic and biochemical parameters. *Euphytica*, Volumen 74; páginas 227-236.
- Beadle GW. 1932. The relation of crossing over to chromosome association in *Zea-Euchlaena* hybrids. *Genetics* 17: 481-501.
- Beadle G.W. 1939. Teosinte and the origin of maize. *J. Heredity* 30; páginas 245-247.
- Beadle G.W. 1978. Teosinte and the origin of maize. En: *Maize breeding and genetics*, D.B. Walden (Ed.), Wiley Interscience; páginas 113-128.
- Beadle G.W. 1980. The ancestry of corn, *Sci. American* 242; páginas 112-119.
- Benz BF. 2001. Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz, Oaxaca. *PNAS* Volumen 98, Número 4, páginas 2104–2106.
- Bird, RMck. 1980. Maize Evolution from 500 BC to the present. *Biotropica*, Volumen 12, Número 1, páginas 30-41.
- Boege-Schmidt E. 2006. Territorios y diversidad biológica. La agrobiodiversidad de los pueblos indígenas de México. En: *Biodiversidad y conocimiento tradicional en la sociedad rural*, Concheiro Bórquez L y López Barcenás F (coord.). Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, LX Legislatura, Congreso de la Unión, México.
- Broda J. 1978. Relaciones políticas ritualizadas: El ritual como expresión de una ideología. En: *Economía política e ideología en el México prehispánico*, Carrasco P. y Broda J. (eds), CIS-INAH. Editorial Nueva Imagen, México, DF; pp. 221-254.
- Bush MB, Piperno DR, Colinvaux PA. 1989. A 6000 year history of Amazonian cultivation. *Nature*, Número 340, páginas 303-305.
- Camussi A., Spagnoletti P.L., Melchiorre P. 1983. Numerical taxonomy of Italian maize populations: Genetic distances on the basis of heterotic effects. *Maydica*, Volumen 28; páginas 411-424.
- Carvalho VP, Ruas CF, Ferreira JM, Moreira RMP, Ruas PM. 2004. Genetic diversity among maize (*Zea mays* L.) landrace assessed by RAPD markers. *Genetics Mol Biol* 27(2): 228-236.
- Casas-Díaz E, Hanson D, Wellhausen E. 1968. Genetic relationships among collections representing three Mexican racial composites of *Zea mays*. *Genetics* Volumen 59, páginas 299–310.
- Cervantes T., Goodman M.M., Casas-Díaz E., Rawlings J.O. 1978. Use of genetic effects and genotype by environmental interactions for the classification of Mexican races of maize. *Genetics*, Volumen 90; páginas 339–348.
- CIMMYT, 1999. A core subset of LAMP, from the Latin American Maize Project 1986-1988. México, D.F.
- Collins GN. 1921. Teosinte in Mexico. *J. Heredity* 12: 339-350.
- Creighton HB, McClintock B. 1931. A correlation of cytological and genetical crossing-over in *Zea mays*. *PNAS* Volumen 17, Número 8, páginas 492–497
- Doebley J, Goodman JJ, Stuber CW. 1985. Isozyme variation in the races of maize from Mexico. *American Journal of Botany* 72(5): 629-639.
- Doebley J, Stec A, Wendel J, Edwards M. 1990. Genetic and morphological analysis of a maize-teosinte F2 population: Implications for the origin of maize. *PNAS*, Volumen 87; páginas 9888-9892.
- Doebley J., Stec A. 1991. Genetic analysis of the morphological differences between maize and teosinte. *Genetics*, Volumen 129; páginas 285-295.
- Doebley J. 1992. Mapping the genes that made maize. *Trends in Genetics*, Volumen 8, Número 9; páginas 302-307.
- Emerson RA. 1924. Control of flowering in teosinte. *J. Heredity* 15, páginas 41-48.
- Emerson RA, Beadle GW, 1932. Studies of *Euchlaena* and its hybrids with *Zea*. II. Crossing over between the chromosomes of *Euchlaena* and those of *Zea*. *Z Indukt Abstamm Ver* 62: 305-315.
- Eubanks M. 1995. A cross between two maize relatives: *Tripsacum dactyloides* and *Zea diploperennis* (Poaceae). *Economic Botany* 49(2); páginas 172-182.
- Florescano, E. 2003. Imágenes y significados del dios del maíz. En: *Sin maíz no hay país*, Esteva G, Marielle C (coord), Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, CONACULTA, México, DF.
- García-Lara S, Burr AJ, Serratos JA, Díaz-Pontones DM, Arnason J, Bergvinson DJ. 2003. Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* (Motsch. Coleoptera: Curculionidae): Mecanismos y bases de resistencia. *Revista de Educación Bioquímica* 22(3): 138-145.
- Gaut BS, Doebley JF. 1997. DNA sequence evidence for the segmental allotetraploid origin of maize. *PNAS*, Volumen 94; páginas 6809-6814.
- Goodman, MM, Bird RMck. 1977. The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31: 204-221.
- González R LP. 1994. Caracterización de microorganismos de mucigel de raíces adventicias y suelo rizosférico de maíz de la región Mixe, Oaxaca. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. 95 p.

- Grant U, Hatheway WH, Timothy DH, Cassalet C, Roberts LM. 1963. Races of maize in Venezuela. National Academy of Sciences, NRC Publication 1136. Washington D.C.;
- Griliches Z. 1957. Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, Volumen 25, Número 4, páginas 501-522.
- Grobman A, Salhuana W, Sevilla R, Mangelsdorf PC. 1961. Races of maize in Peru. National Academy of Sciences, NRC Publication 915. Washington D.C.
- Hanson MA, Gaut BS, Stec A, Fuerstenberg SI, Goodman MM, Coe EH, Doebley J. 1996. Evolution of anthocyanin biosynthesis in maize kernels: The role of regulatory and enzymatic loci. *Genetics*, Volumen 143; páginas 1395-1407.
- Harshberger, JW. 1893. Maize: A Botanical and Economic Study (Monograph). En: Contributions from the Botanical Laboratory of the University of Pennsylvania, volumen 1 número 2.
- Hatheway WH. 1957. Races of maize in Cuba. National Academy of Sciences, NRC Publication 453. Washington D.C.
- Hernández-Boncalo F. (1515/1517 – 1578):
<http://www.franciscoteixido.com/default.asp?q=6&p=2&lg=sp>
<http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/patrimonio/personajes/biografia.asp?id=27>
<http://www.publicaciones.cucsh.udg.mx/pperiod/esthom/esthompdf/esthom20/19-37.pdf>
- Hernández-Casillas JM. 1986. Estudio de caracteres químicos del grano de las razas mexicanas de maíz y clasificación racial. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo Estado de México. 79 p.
- Hernández-Xolocotzi E. 1988. Experiences in the collection of maize germplasm. En: Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop. CIMMYT, México DF, páginas 1-8.
- Ittis H.H. 1983. From teosinte to maize: The catastrophic sexual transmutation. *Science* 222; páginas 886-894.
- Kato-Yamakake TA. 1976. Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrader Kuntze) in relation to their origin and evolution. *Boletín de Massachusetts Agric Expt Station* Número 635.
- Kato-Yamakake TA. 1996. Revisión del estudio de la introgresión entre maíz y teocintle. En: Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico, Serratos JA, Willcox MC y Castillo F (eds), CIMMYT México DF. (http://www.cimmyt.org/ABC/geneflow/geneflow_pdf_spa/FG-Revision.pdf)
- Kato-Yamakake TA. 2005. Cómo y dónde se originó el maíz. *Investigación y Ciencia* Agosto 2005: 68- 72.
- Labate JA, Lamkey KR, Mitchell SE, Kresovich S, Sullivan H, Smith JSC. 2003. Molecular and historical aspects of corn belt dent diversity. *Crop Science* 43: 80-91.
- León-Portilla, M. Mitos de los orígenes en Mesoamérica. *Arqueología Mexicana*, Volumen X, Número 56, páginas 20-29. Editorial Raíces-INAH.
- Li D, Blakey CA, Dewald C, DellaportaSL. 1997. Evidence for a common sex determination mechanism for pistil abortion in maize and its wild relative *Tripsacum*. *PNAS* Volumen 94; páginas 4217-4222.
- Linneo C. 1748. *Systema Naturae*. Estocolmo, Suecia:
http://gdz.sub.uni-goettingen.de/no_cache/dms/load/img/?IDDOC=233236
- Lumholtz 1902 (1986). *El México desconocido*. Instituto Nacional Indigenista, 2 tomos, México DF.
- Mangelsdorf, PC y Reeves RG. 1938. The origin of maize. *PNAS* 24(8); Páginas 303-312.
- Mangelsdorf, PC y Reeves, RG. 1959. The origin of corn. *Bot. Mus. Leaf. Harv. Univ.*, 18: 389-411.
- Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman MM, Sánchez-González J, Buckler E, Doebley J. 2001. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS*, Volumen 99, Número 9; páginas 6080-6084.
- McClintock B. 1929. Chromosome morphology in *Zea mays*. *Science*, Volumen 69, Número 1798, página 629
- McClintock B. 1930. A Cytological Demonstration of the Location of an Interchange between two Non-Homologous Chromosomes of *Zea mays*. *PNAS* Vol. 16, Número 12; páginas 791-796
- McClintock, B, Kato Y. TA y Blumenschein A. 1981. Chromosome Constitution of Races of Maize. Its Significance in the Interpretation of Relationships between Races and Varieties in the Americas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mexico; CIMMYT, Programa de Recursos Naturales.
- Paterniani, E y Goodman, MM. 1978. Races of Maize in Brazil and Adjacent Areas. Mexico: International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City.
- Perales H, Benz BF, Brush SB. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *PNAS* Volumen 102, Número 3, páginas 949-954.
- Piperno D y Flannery K. 2001. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *PNAS*, Volumen 98, Número 4; páginas 2101-2103.
- Pope, KO, Pohl MED, Jones JG, Lentz DL, von Nagy C, Vega FJ, Quitmyer IR. 2001. Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica. *Science*, Volumen 292, páginas 1370-1373.
- Popol Wuj. 1986. Antiguas historias de los indios quichés de Guatemala por Albertina Saravia. Editorial Porrúa, Colección "Sepan cuantos..." Num. 36, Decimosexta edición. México, D.F.

- Pressoir G, Berthaud J. 2004a. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico. *Heredity*, Volume 92; Pages 88-94.
- Pressoir G, Berthaud J. 2004b. Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity*, Volume 92; Pages 95-101.
- Latin American Maize Project (LAMP). 1991. ARS-USDA, CIMMYT, Pioneer Hi-Bred International Inc., Universidad Agraria La Molina (Perú).
- Ramírez R, Timothy DH, Díaz E, Grant UJ, Nicholson-Calle GE, Anderson E, Brown WL. 1961. Razas de maíz en Bolivia. Ministerio de Agricultura de Colombia, Oficina de Investigaciones Especiales, Boletín técnico Num. 9. Editorial ABC, Bogotá, Colombia;
- Reid L, Arnason JT, Nozzolillo C, Hamilton R. 1990. Taxonomy of Mexican landraces of maize, based on their resistance to European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Euphytica*, Volume 46; Pages 119-131.
- Roberts LM, Grant UJ, Ramírez R, Hatheway WH, Smith DL, Mangelsdorf PC. 1957. Razas de maíz en Colombia. Ministerio de Agricultura de Colombia, Oficina de Investigaciones Especiales, Boletín técnico Num. 2. Editorial Máxima, Bogotá, Colombia
- Sánchez-González, J.J. and M.M. Goodman. 1992a. Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46(1): 72-85.
- Sánchez-González, J.J. and M.M. Goodman. 1992b. Relationships among Mexican and some North American and South American races of maize. *Maydica* 37: 41-51.
- Sánchez González JJ, Ruíz Corral JA. 1996. Distribución del teocintle en México. In: Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico, Serratos JA, Willcox MC y Castillo F (eds), CIMMYT México DF (http://www.cimmyt.org/ABC/geneflow/geneflow_pdf_spa/FGDistribucion.pdf)
- Schrader H. 1833. *Index Seminum Hort Acad Gottingen 1832*: 25-26. See: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?16116>
- Serratos A, Arnason JT, Nozzolillo C, Lambert JDH, Philogene BJR, Fulcher G, Davidson K, Peacock L, Atkinson J, Morand P. 1987. Factors contributing to resistance of exotic maize populations to maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Journal of Chemical Ecology* 13: 751-762.
- Thom R. 1977. *Stabilité structurelle et morphogénèse. Interédition*, París (Estabilidad estructural y morfogénesis, Editorial GEDISA, Barcelona, España, 1987).
- Timothy DH, Peña B, Ramírez R, Brown WL, Anderson E. 1961. Races of maize in Chile. National Academy of Sciences, NRC Publication 847. Washington D.C.
- Timothy DH, Hatheway WH, Grant UJ, Torregroza M, Sarria D, Varela D 1966. Razas de maíz en Ecuador. Instituto Colombiano Agropecuario, Ministerio de Agricultura de Colombia, Boletín Técnico Num. 12. Bogotá Colombia.
- Turrent A, Serratos JA. 2004. Context and Background on Maize and its Wild Relatives in Mexico. In: *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*. CCA, Montreal Canadá. 55 pp.
- Tykot RH, Staller JE. 2002. The importance of early maize agriculture in coastal Ecuador: New data from La merenciana. *Current Anthropology*, Volume 43, Number 4, Pages 666 - 677.
- Waddington CH. 1975a. Genetic assimilation. In: *The evolution of an evolutionist*, Waddington CH Cornell University Press, Ithaca, NY, Estados Unidos, Pages 59 - 92.
- Waddington CH. 1975. A catastrophe theory of evolution. In: *The evolution of an evolutionist*, Waddington CH Cornell University Press, Ithaca, NY, Estados Unidos, Pages 253 - 266.
- Weissinger AK, Timothy DH, Levings III CS, Goodman MM. 1983. Patterns of mitochondrial DNA variation in indigenous maize races of Latin America. *Genetics* 104: 365-379.
- Wellhausen E.J., Roberts L.M., Hernández-Xolocotzi E., Mangelsdorf P.C. 1952. *Races of maize in Mexico*. Bussey Institute, Harvard University (Cambridge)
- Wellhausen E.J., Fuentes A., Hernández-Corzo A., Mangelsdorf P.C. 1958. Razas de maíz en la América Central. Folleto técnico 31, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería, México DF
- Wilkes HG. 1970. Teosinte introgression in the maize of the Nobogame valley. *Botanical Museum Leaflets*, Harvard University, Volume 22, Number 9, Pages 297 - 311.
- Wilkes HG. 1977. Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Economic Botany*, Volume 31, Number 3, Pages 254 - 293.
- Wilkes HG y Goodman MM. 1995. Mystery and missing links: The origin of maize. *Maize Genetic Resources*, Maize Program Special Report; Taba, S. (editor), México, DF, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
- Wilkes, G. 2004. Corn, Strange and Marvelous: But Is a Definitive Origin Known?. In: *Corn: Origin, History, Technology, and Production*, C. Wayne Smith (ed), Wiley & Sons, Inc. Pages 3 - 63.
- Yakoleff-Greenhouse V, Hernández-Xolocotzin E, Rojkind-de-Cuadra C, Larralde C. 1982. Electrophoretic and immunological characterization of pollen protein of *Zea mays* races. *Economic Botany* 36(1): 113-123.

Editorial review

Aleira Lara
Cecilia Navarro

Design

Atzin Aguilar

Greenpeace is a global, environmental, non governmental and politically and economically independent organization. It takes action to protect the environment, promote social and environmental peace and justice and to change attitudes and habits. It works through campaigns to: promote clean energies and mitigate climate change, protect the oceans from overexploitation and contamination, protect the forests and the people living in them, avoid the release of GMO to the environment and promote a sustainable agriculture, create a future free of toxics and promote the environmental justice and peace.

Photograph on the cover:
Diversity of native maize © Greenpeace

Greenpeace México

Santa Margarita 227, Col. del Valle,
C.P. 03100, Mexico, Mexico City

More information in:
www.greenpeace.org.mx

Contact us:
greenpeace.mexico@greenpeace.org

Join Greenpeace calling the phone numbers:
5687 8780 / 5687 8869



Paper made without elemental chlorine and acids free.