Gobierno de Guatemala
Consejo Nacional de Áreas Protegidas

CONAP

Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados

Maíz (*Zea mays*)

UNEP

gef

Documento técnico No. 10-2014

CONSEJO NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS -CONAP-

DOCUMENTO ELABORADO POR EL CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS

CULTIVOS NATIVOS DE GUATEMALA Y BIOSEGURIDAD DEL USO DE ORGANISMOS VIVOS MODIFICADOS

El presente documento es producto del proyecto “Desarrolllo de Mecanismos para Fortalecer la implementación del Protocolo de Cartagena en Guatemala” Proyecto UNEP-GEF GFL 2328-2716 4B43, ejecutado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, a través de la Oficina Técnica de biodiversidad -OTECBIO- , y financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-UNEP).

Publicacion patrocinada gracias al apoyo de GEF-UNEP

Documento elaborado por el proyecto: Desarrollo de Mecanismos para Fortalecer la implementación del Protocolo de Cartagena en Guatemala”, OTECBIO
Dr. César Azurdia
Licda. Mariana del Cid
Licda. Mónica Barillas
Lic. Msc. José Luis Echeverría

Autor
Dr. César Azurdia

Coordinador
Dr. César Azurdia

Elaboración de mapas:
Ing. Kenset Rosales

Edición
Licda. Azucena Caremina Barrios Orozco

Diseño y diagramación
Licda. Ana Lucía Barrios Girón
Licda. Paula González de Aguilar

Se sugiere citar el documento de la siguiente manera:
Azurdia, C. 2014. Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados. Maíz (*Zea mays*). Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Documento Técnico No.10-2014. 74 p.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-
5a. Av. 6-06 zona 1, Edificio IPM, 5to, 6to, y 7mo. nivel
PBX (502) 24226700
FAX (502) 22534141
www.conap.gob.gt
www.chmguatemala.gob.gt/página especializada en Diversidad Biológica
www.bchguatemala.gob.gt/página especializada en Biotecnología Moderna

Megadiversidad para siempre

Oficina Técnica de Biodiversidad/otecbio@conap.gob.gt

Esta publicación se realiza de acuerdo al normativo de propiedad intelectual de CONAP, aprobado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas con fecha 28 de agosto del 2013.

Impresión: Serviprensa, S.A. • PBX: 22458888

CULTIVOS NATIVOS DE GUATEMALA Y BIOSEGURIDAD DEL USO DE ORGANISMOS VIVOS MODIFICADOS

La colección de módulos de “Cultivos nativos de Guatemala y bioseguridad del uso de organismos vivos modificados” es producto del proyecto “Desarrollo de Mecanismos para Fortalecer la Implementación del Protocolo de Cartagena en Guatemala” GFL 2328-2716 4B43 implementado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas a través de la Oficina Técnica de Biodiversidad –OTECBIO–, financiado por el Fondo Mundial de Medio Ambiente –GEF–, por sus siglas en inglés y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA-UNEP.

PROYECTO UNEP-GEF GFL 2328-2716 4B43

Gobierno de Guatemala

CONAP

Presentación

El Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- es el ente gubernamental responsable de la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica en todo el territorio nacional de Guatemala, responsabilidad otorgada en la Ley de Áreas Protegidas y su Reglamento, asimismo el Decreto 5-95 a través del cual el país se adhiere como Estado parte del Convenio de Diversidad Biológica - CDB-. De la misma manera, el Protocolo de Cartagena Sobre la Seguridad de la Biotecnología –PC- es parte del CDB y fue ratificado por Guatemala por medio del Decreto 44-203, siendo su objetivo "Contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana".

El artículo 15 del PC mandata el desarrollo de análisis de riesgo previo a la introducción de organismos vivos modificados, haciendo énfasis en que el mismo debe de desarrollarse con base científica. Guatemala es uno de los ocho centros de origen y diversidad de plantas cultivadas, dentro de las cuales se encuentran especies de importancia alimenticia mundial como el maíz, frijoles, yuca, camote, entre otros. Se reconoce que dentro de los cultivos nativos de Guatemala así como de sus parientes silvestres se presenta alta diversidad genética, la cual ha servido de base para el mejoramiento de dichos cultivos.

Debido al desarrollo de variedades genéticamente modificadas de los cultivos con mayor impacto en la agricultura mundial, varios de los cuales tienen su centro de origen y diversidad en Guatemala, es necesario contar con línea base para apoyar el análisis de riesgo previo a la introducción de dichas variedades al territorio nacional. El programa "Desarrollo de Mecanismos para Fortalecer la Implementación del Protocolo de Cartagena en Guatemala" conducido por el CONAP, dentro de sus productos ha desarrollado los módulos de "Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados", como una herramienta de apoyo a los tomadores de decisiones para dar respuesta a aquellas solicitudes de uso de organismos vivos modificados que se planteen en el futuro inmediato.

La información contenida en los módulos indicados representa el esfuerzo conjunto de investigadores nacionales e internacionales que constituye la línea base actual sobre la cual se deberá fundamentar el análisis de riesgo basado en ciencia, tal como el PC lo mandata.

Ing. Marvin Benedicto Lucas López
Secretario Ejecutivo
Consejo Nacional de Áreas Protegidas
-CONAP-

Índice

- Presentación General 10
- Introducción 12
- Origen del maíz 14
  - Teoría multicéntrica 15
  - Teoría unicéntrica 15
- Información Biológica 19
  - Floración 19
  - Dispersión y longevidad del polen - Flujo genético a través de intercambio de semillas 20
  - Reproducción sexual y asexual 21
  - Dispersión y dormancia de la semilla 22
  - Plantas voluntarias, ruderales, persistencia y capacidad invasiva 22
  - Hibridación 25
  - Tasa de cruzamiento y distancias 26
- Taxonomía del maíz y sus parientes silvestres 27
  - Tripsacum: especies y su distribución
  - Teocintle: especies y su distribución 29
- Diversidad del maíz en Guatemala 39
  - Características morfolólogicas y fenología de las razas y subrazas
  - Distribución real y potencial de las razas y subrazas 43
- Desarrollo de la tecnología GM 62
- Conclusiones y reflexiones 70
- Bibliografía 72

PRESENTACIÓN GENERAL

El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), es el ente gubernamental responsable de la conservación y uso sostenible de la Diversidad Biológica en todo el territorio nacional de Guatemala, descrito en la Ley de Áreas Protegidas y su Reglamento (Decreto 4-89). Así mismo, el Decreto legislativo 5-95 que refiere a la adhesión de Guatemala como Estado-parte ante la Convención de Diversidad Biológica (CDB), siendo el CONAP el punto focal responsable de darle seguimiento. De igual manera, el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología (PC) del CDB ha sido firmado y ratificado por Guatemala, del cual, también el CONAP es el Punto Focal Nacional.

El objetivo del PC es contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo en cuenta los riesgos para la salud humana.

Como parte de la implementación del Protocolo y con el apoyo de entidades internacionales como Global Environment Fund (GEF) y United Nations Environment Programme (UNEP) a través del proyecto: "Desarrollo de Mecanismos para Fortalecer la Implementación del Protocolo de Cartagena en Guatemala GFL-2328-2716-4B43, se presentan los módulos de "Cultivos nativos de Guatemala y bioseguridad del uso de organismos vivos modificados", diseñado para tomadores de decisión, en instituciones involucradas directamente en la seguridad de la biotecnología como: el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, entre otros. Así como también a estudiantes y profesionales con interés en esta disciplina.

Siendo Guatemala parte de uno de los ocho centros de origen y diversidad de plantas cultivadas, se espera que en su territorio se encuentre alta diversidad genética en aquellos cultivos nativos así como en sus parientes silvestres más cercanos. Esta riqueza es única y debe conservarse y utilizarse sosteniblemente para beneficio de la sociedad guatemalteca y del mundo. En los momentos actuales cuando el desarrollo de la biotecnología moderna ha conducido a la creación de organismos vivos modificados, como una nueva alternativa tecnológica con el propósito de incrementar la disponibilidad de alimento a través de la agricultura; así como para otros fines que vienen a mejorar el nivel de vida del ser humano, es necesario considerar los posibles efectos negativos que el uso de dichos cultivos pudieran tener sobre la agrobiodiversidad. Para llegar a establecer dicha posibilidad es necesario desarrollar análisis de riesgo ambiental, el cual deberá estar basado en evidencia científica. De esta manera, la linea base mínima requerida comprende aspectos tales como presencia y distribución de especies silvestres emparentadas, diversidad de las especies cultivadas nativas, aspectos biológicos como floración, polinización, flujo genético, hibridación, capacidad invasiva, entre otros. Además, se debe incluir el desarrollo actual de la biotecnología que genera cultivos genéticamente modificados y el uso actual de los mismos en las regiones aledañas a Guatemala.

Los presentes módulos contienen información básica de nueve cultivos de origen mesoamericano y uno asiático, pero con parientes silvestres en Guatemala, tratando de cubrir los temas fundamentales que apoyan el análisis de riesgo ambiental descritos con anterioridad. Se espera que sea de utilidad para aquellos funcionarios que tienen que realizar análisis de riesgo ambiental, previo a la toma de decisiones relativa al uso seguro de aquellos cultivos nativos de Guatemala modificados genéticamente a través del uso de la biotecnología moderna.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes del mundo, reconociéndose ampliamente que su lugar de origen se encuentra en México y Guatemala. Se ha calculado que en el país se siembran alrededor de 700,000 ha, estando el 33% de esta área cultivada en el altiplano central y occidental (Fuentes, 1995).

Dada la importancia del maíz, se han realizado dos exploraciones importantes para colectar maíz en Guatemala. McBryde (1945) hizo una extensa recolección en el país, la cual constó de 318 mazorcas procedentes de 38 sitios en 13 departamentos. Sin embargo, la recolección más importante fue realizada por Fuentes entre 1952 y 1953. Con toda la información de campo recabada, se realizó la monografía "Razas de Maíz en la América Central" por Wellhausen *et al.* (1957). En años recientes el ICTA ha desarrollado algunas recolecciones de maíces nativos, utilizando estos mismos como base para mejoramiento (Fuentes, comunicación personal). El resultado de este programa ha generado variedades mejoradas para el altiplano alto, altiplano medio y zonas tropicales.

Los parientes silvestres del maíz son conocidos como "teocintle" e incluyen tanto especies anuales (*Zea luxurians* y *Zea mays*) como perennes (Zea perennis y Zea diploperennis). Evidencia reciente indica que el maíz actual proviene de Zea mays subsp. parviglumis en el Valle del Río Balsas en el sur de México (Doebley, 2004). Dos especies de maíz silvestre se encuentran en Guatemala, lo cual fue confirmado por el inventario de parientes silvestres de los cultivos de Guatemala (Azurdia *et al.* 2011). Uno de los primeros reportes sobre la presencia en Guatemala de poblaciones de parientes silvestres de maíz fue realizado por Kempton y Popenoe (1937). La revisión desarrollada por Iltis *et al.* (1986) muestra con mayor detalle las localidades en las cuales se encuentran las poblaciones de teocintle en Guatemala. Más recientemente, Wilkes (1993) realizó una expedición en Guatemala para constatar la presencia de las poblaciones de teocintle previamente reportadas.

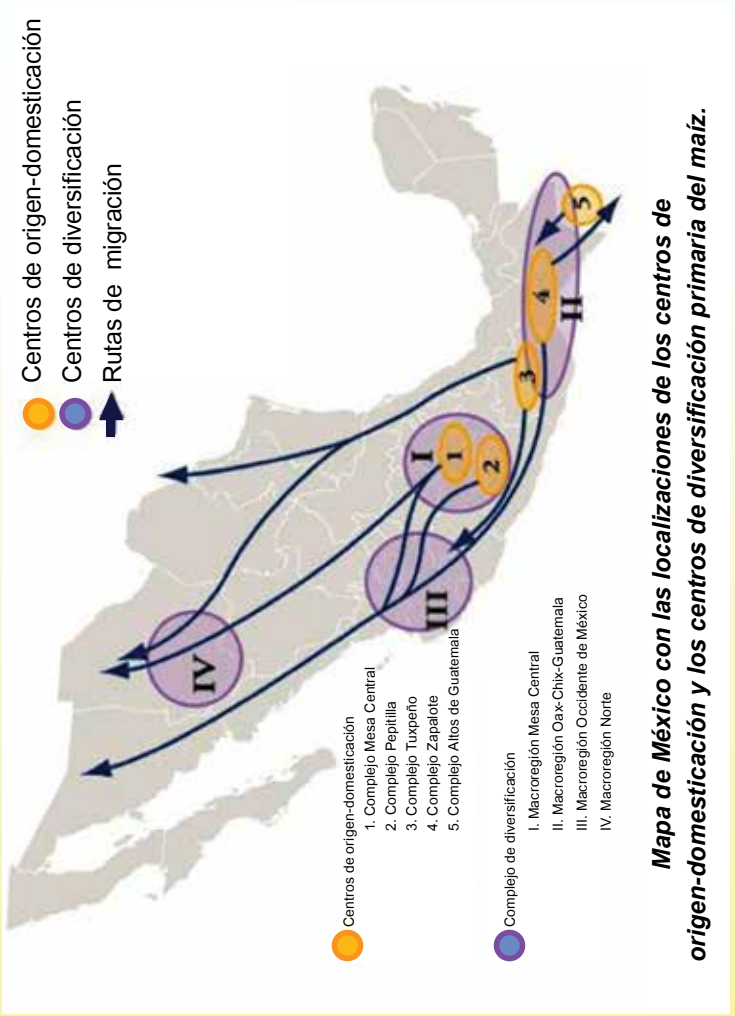
El taxón Zea mays subsp. huehuetenangensis se encuentra distribuido en el oeste del departamento de Huehuetenango, en los municipios de Santa Ana Huista, San Antonio Huista, Jacaltenango y Nentón (Iltis *et al*., 1986; Diaz y Azurdia, 2002). La otra especie guatemalteca de teocintle, *Zea luxurians*, está presente en los departamentos orientales de Jutiapa, Jalapa y Chiquimula. Es bien reconocido que los cruces de teocintle con maíz producen descendientes fértiles (Wilkes, 1993). Tanto en México como en Guatemala se han registrado híbridos naturales entre teocintle y maíz, así mismo, se reporta presencia de genes en ambas poblaciones por efectos de introgresión genética, ya sea inducida por los agricultores o bien por vías naturales (Goodman, 1995).

Existen en Guatemala unas ocho especies nativas del género Tripsacum. Especies de Tripsacum son consideradas cercanas a *Zea mays*, sin embargo, cruces experimentales realizados con dichas especies y maíz producen híbridos con diferentes grados de esterilidad. A través de retrocruzamientos, pequeñas porciones del genoma de Tripsacum puede ser incorporado al maíz (Goodman, 1995).

El presente módulo representa una revisión exhaustiva de los recursos genéticos del maíz y sus parientes silvestres en Guatemala, así como de sus principales características biológicas. Esta información es fundamental para el análisis de riesgo que se debe conducir antes de aprobar solicitudes de liberación al ambiente de maíz genéticamente modificado. No hay que olvidar que el maíz no solo es la base de la alimentación de la población guatemalteca, sino también tiene significado cultural, histórico y religioso en Guatemala.

ORIGEN DEL MAÍZ

La Teoría Multicéntrica: plantea que el maíz se originó y domesticó en cinco centros, incluyendo uno que comprende parte de Chiapas y el occidente de Guatemala; los otros cuatro en México.



Mapa de México con las localizaciones de los centros de origen-domesticación y los centros de diversificación primaria del maíz.

Créditos: Kato et al 2009

Bases de la teoría multicéntrica

- Estudio de morfología de cromosomas (especialmente nudos cromosómicos).
- Complejos de nudos cromosómicos migraron en diferentes rutas. En áreas de convergencia mayor diversidad de razas.
- Presencia de dos poblaciones de teocintle en Oaxaca, una tipo subsp. parviglumis, otra, con cápsulas similares al teocinte de Guatemala.
- Existencia de un teocintle ancestral que originó al maíz y al actual teocintle.
- Utilizando modelos teóricos, se ha demostrado que cultivos de origen multicéntrico tienen una alta probabilidad de asignárseles un origen monofilético.
- Estos modelos se basan en genética de poblaciones y en evolución, por lo que se pueden considerar como hipótesis que tendrán que ser comprobadas o rechazadas con evidencias genéticas y arqueológicas.

Teoría unicéntrica

Considera que el maíz se originó y domesticó a partir de su pariente silvestre Zea mays subsp. parviglumis en una sola región, siendo esta el centro de México. A partir de dicha región se distribuyó al norte de México y Estados Unidos, así como al resto de Mesoamérica y América del Sur. Diferentes estudios a nivel de marcadores moleculares soportan esta teoría.

Teoría más aceptada

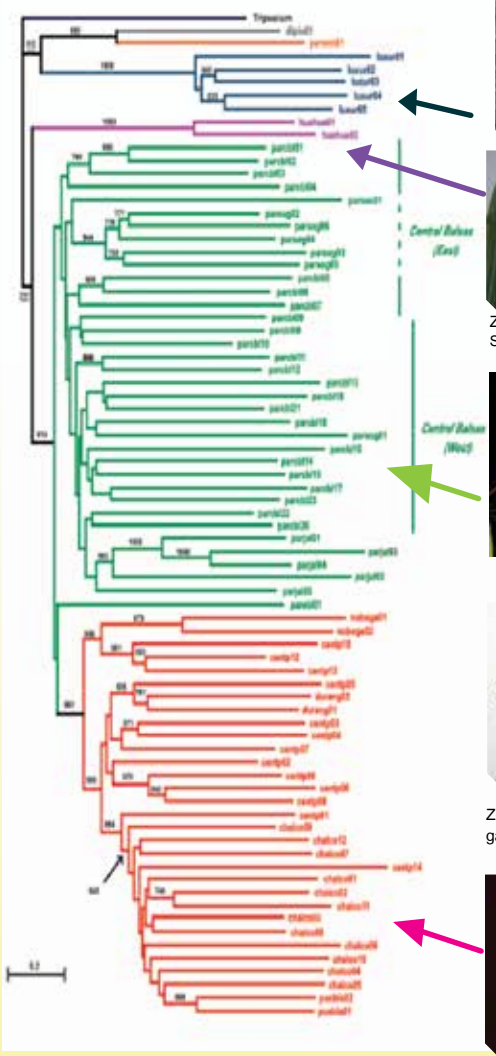
El maíz tuvo un origen unicéntrico, surgió en la parte central de la cuenca del rio Balsas, en Michoacán, Guerrero, y estado de México, siendo por lo tanto, monofilético a partir del teocintle raza Balsas (*Zea mays ssp. parviglumis*)

Crédito: www.wikimediacommons.

DIVERSIDAD GENÉTICA Y DE POBLACIONES DE TEOCINTLE FUKUNAGA *ET AL* (2005)

- 237 individuos, 93 microsatélites
- Z. mexicana y Z. mays parviglumis son diferentes pero forman un grupo diferente a las otras especies (hay presencia de híbridos)
- Z. mays parviglumis se diversificó en la parte este de su distribución y luego se diversificó al oeste
- Z. mexicana se diversificó en la meseta central de Mexico y luego se dispersó al norte y al este
- Z. mays parviglumis es el que tiene mayor diversidad genética
- Los teocintles guatemaltecos no están cercanamente relacionados con los teocintles anuales mexicanos

DIVERSIDAD GENÉTICA Y DE POBLACIONES DE TEOCINTLE FUKUNAGA *ET AL* (2005)



Créditos. Fukunaga et al. (2005)

Zea luxurians
César Azurdia

Zea mays subsp. huehuetenangensis
Sergio Hidalgo

Zea mays subsp parviglumis
conabio.gob,mx

Zea mays subsp parviglumis
gardenweb.com

Zea mexicana
pytoimages.siu.edy y conabio.gob.mx

Un solo proceso de domesticación del maíz mostrado a través del estudio de microsatélites. Matsuoka *et al.* (2002).

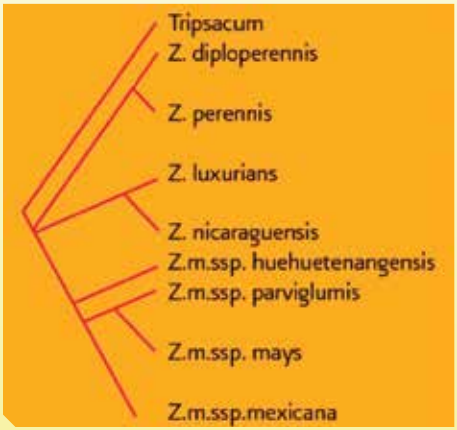
- 264 plantas (193 accesiones de maíz cubriendo su distribución conocida en tiempos prehispánicos, y muestras de teocintle anual), 99 microsatélites.

- Maíz es el resultado de un solo proceso de domesticación en el sur de México, hace aproximadamente unos 9,000 años, a partir de Z. mays subsp parviglumis.

- El modelo planteado es concordante con el registro arqueológico sugiriendo que el maíz se diversificó en las montañas altas de México antes de dispersarse a las tierras bajas.

- Dos líneas de dispersión: hacia el occidente y norte de México y luego al este de USA y Canadá. La otra, hacia tierras bajas del occidente y sur de México y luego a Guatemala, las islas del Caribe, partes bajas de Sur América y finalmente, a las montañas de los Andes.

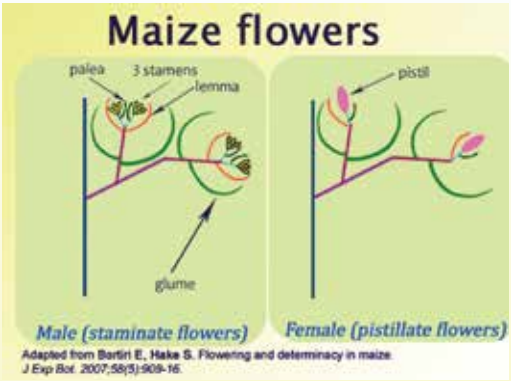
Conocimiento actual del parentesco entre el maíz y sus parientes silvestres (CONABIO, México)



conabio.gob.mx

Floración

- Especie monoica
- 4.5 a 25 millones de granos de polen/planta (5-20 días)
- Materiales nativos floración masculina y femenina no coinciden (polinización cruzada obligatoria). En materiales mejorados coinciden.
- Los parientes silvestres son ruderales o malezas.
- En general el tiempo de floración del teocintle es suficientemente largo para permitir coincidir con el del maíz cultivado (Anderson y de Vicente, 2010)



Créditos: Acevedo, Francisca

DISPERSIÓN Y LONGEVIDAD DEL POLEN

Flujo genético a través de intercambio de semilla

- Polinización por el viento, actividad por abejas, escarabajos, mariposas y saltamontes se reporta algunas veces.

- Bajo condiciones secas y cálidas el polen es viable 10-30 minutos hasta 2 horas. Bajo condiciones húmedas y cálidas, varios días.

- El polen de teocintle es 15-30% más pequeño que el de maíz y es más susceptible a la desecación.

- En Mesoamérica los agricultores que practican tecnología tradicional intercambian semillas y plantan diferentes clases de semillas aún en la misma parcela. Esto puede permitir altas tasas de flujo genético e introgresión, incluyendo a los parientes silvestres que crecen cerca o dentro de las áreas cultivadas.

Dispersión del polen

Crédito: Anderson y de Vicente, 2010

DISTANCIAS DE AISLAMIENTO

La distancia mínima en la mayoría de países es de 200 metros. Esto aplica principalmente para producción a nivel comercial en países desarrollados. En países en desarrollo en donde las áreas cultivadas son más pequeñas y la separación entre parcelas es muy corta, es necesario tomar otras medidas (barreras, por ejemplo).

Reproducción sexual y asexual

- El maíz domesticado es anual y diploide (2n= 2x= 20).
- Alógamo (95% polinización cruzada). Sus plantas son autocompatibles.
- Domesticado no se reproduce en forma asexual.
- Teocintles perennis y diploperennis pueden reproducirse por rizomas.

Dispersión y dormancia de la semilla

- Las semillas de maíz pueden sobrevivir hasta un año en el suelo.
- No toleran heladas prolongadas.
- Las semillas de teocintle alimentan al ganado y pueden sobrevivir a las acciones del tracto digestivo.

Plantas voluntarias, ruderales, persistencia y capacidad invasiva

Debido a que granos de maíz quedan en el campo o bien a orillas de terrenos, se pueden observar plantas de maíz voluntarias. Sin embargo, estas normalmente no tienen mayor capacidad de persistencia debido a que no son capaces de dispersar sus propias semillas. Por lo tanto se considera que no tienen ninguna capacidad de invadir nuevas áreas. El caso del teocintle puede ser diferente debido a que sus semillas sí se dispersan en forma natural, además, las semillas pueden ser consumidas por el ganado y ser dispersadas ya que no son destruidas por el tracto intestinal (Anderson y de Vicente, 2010).

Distancia de aislamiento

Table 12.3 Isolation distances for domesticated maize (*Zea mays* L.)

Threshold*	Minimum isolation distance (m)	Country	Reference	Comment
0.1% / n.a.	200	EU	EC 2001	foundation (basic) seed requirements (inbred lines, hybrids)
0.2% / n.a.	200	EU	EC 2001	certified seed requirements (inbred lines, hybrids)
0.5% / n.a.	200	EU	EC 2001	foundation (basic) seed requirements (open pollinated)
1.0% / n.a.	200	EU	EC 2001	certified seed requirements (open pollinated)
0.5% / n.a.	300	UK	Ingram 2000	foundation (basic) seed requirements (non-hybrids)
1.0% / n.a.	200	UK	Ingram 2000	certified seed requirements (non-hybrids) and organic crops
0.5% / 0.5%	200	OECD	OECD 2008	foundation (basic) seed requirements (non-hybrids)
1.0% / 1.0%	200	OECD	OECD 2008	certified seed requirements (non-hybrids)
0.5% / 0.1%	200	OECD	OECD 2008	foundation (basic) seed requirements (hybrids)
1.0% / 0.2%	200	OECD	OECD 2008	certified seed requirements (hybrids)
0.1% / 0.1%	200	USA	USDA 2008	foundation (basic) seed requirements (inbred lines)
0.5% / 0.5%	200	USA	USDA 2008	certified seed requirements (open pollinated)
0.1% / 0.5%	200	USA	USDA 2008	certified seed requirements (hybrid)
0.05% / n.a.	200	Canada	CSGA 2009	certified seed requirements (open pollinated)
0.1% / n.a.	200†	Canada	CSGA 2009	certified seed requirements (hybrids)

*Maximum percentage of off-type plants permitted in the field / seed impurities of other varieties or off-types permitted. n.a. = not available.
†Isolation distances can be reduced if adequate numbers of male-plant border rows are provided.

Distancia de aislamiento

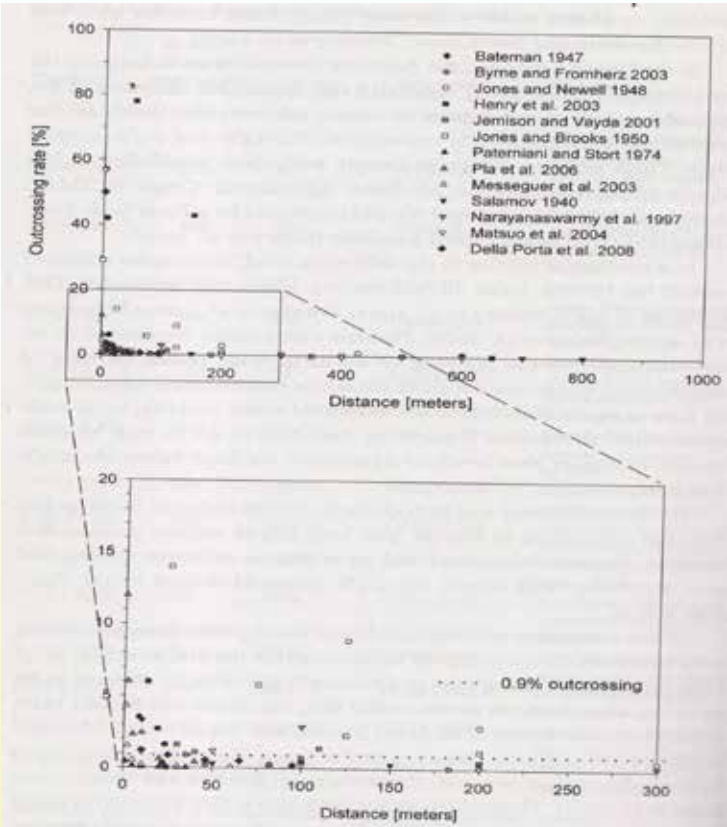


Fig. 12.1 Pollen dispersal distances and outcrossing rates of domesticated maize (*Zea mays* L.)

No se conoce la dirección del movimiento de polen (maiz-teocintle o teocintle-maiz).

Hipótesis: Su flujo es unidireccional, del teocintle al maíz; otros estudios muestran flujo de maíz a teocintle. Otros estudios indican que el flujo depende del genotipo del maíz, de la variedad nativa y aun de la población.

Capacidad de hibridación

Tripsacum

Cruces de maíz con T. dactyloides fallaron en ambas direcciones y no se obtuvieron semillas fértiles. Algunos otros reportes indican resultados variables, pero en la mayoría de los casos se producen híbridos infértiles.

Tripsacum dactyloides

Crédito: Photos ILRI

TASA DE CRUZAMIENTO Y DISTANCIAS

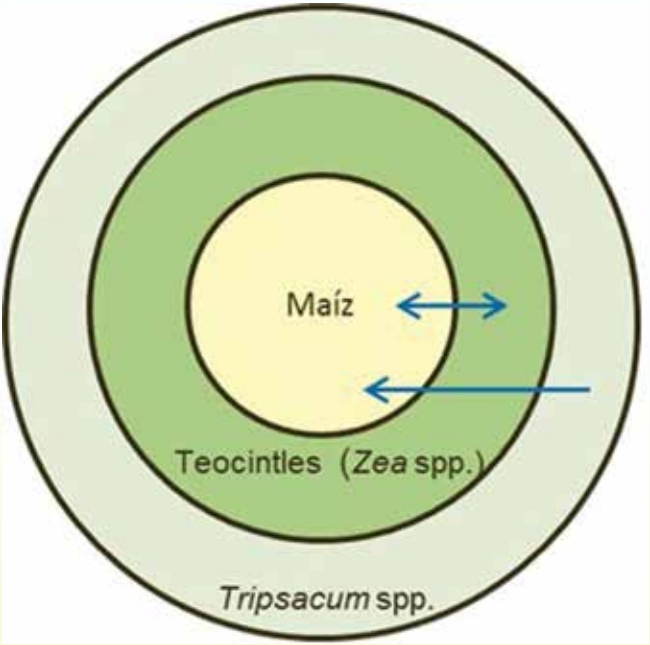
90% del polen es depositado entre 5 metros a partir de su fuente, 96-99% es depositado entre 25-50 metros, y 100% es depositado entre los 100 metros. Algunas veces se reporta polen que se mueve hasta 1.5 km de distancia. Cruzamiento es bajo cuando el polen viaja larga distancia: menor a 0.01% en una distancia de 4 km.

Flujo del polen

Table 12.2 A sample of studies of pollen dispersal distances and outcrossing rates of domesticated maize (*Zea mays* L.)

Pollen dispersal distance (m)	% outcrossing (max. values)	Country	Reference
2, 10, 25, 45, 65, 95	50, 1.2, 0.87, 0.54, 0.49, 0.21	Italy	Della Porta et al. 2008
46, 82, 183	0.23, 0.26, 0.05	USA	Byrne and Feamhere 2003
2, 10, 20, 35, 200	2.0, 2.0, 1.8, 1.7, 1.1	USA	Burris 2001
1.8, 9.4, 20.6, 35.8, 200	2.5, 2.4, 1.9, 1.6, 1.3	USA	Ireland et al. 2006
30, 35, 40, 100, 110, 350	1.6, 0.9, 1.1, 0.7, 1.4, 0	USA	Jemison and Vayda 2001
0, 25, 75, 125, 200, 300, 400, 500	29, 14, 5.8, 2.3, 1.2, 0.5 0.2, 0.2	USA	Jones and Brooks 1950
24, 60, 125, 254, 500, 743	0.30, 0.10, 0.03, 0.01, 0.0004, 0.0004	USA	Halsey et al. 2005
1, 5, 10, 14, 19, 24, 28, 33, 36	62, 13, 16, 4.5, 2.7, 3.1, 3.2, 2.1, 0.6	Canada	Ma et al. 2004
1.8, 6, 8.5, 13, 19, 22, 23, > 23.8	57, 42, 3.5, 6, 2.7, 0.3, 1.6, 0	UK	Bateman 1947
50, 150, 200, 650	> 0.1, > 0.1, 0.42, 0.14	UK	Henry et al. 2003
1, 2, 5, 10, 30, 60	4.3, 1.5, 0.5, 0.2, 0.1, 0.1	Spain	Messeguer et al. 2003
0, 2, 5, 10, 20, 40, 80	12, 6, 2.3, 2.4, 0.6, 0.4, 0.2	Spain	Pla et al. 2006
52, 85, 150, 287, 370, 400, 438, 4440	0.009, 0.015, 0.016, 0.005, 0.008, 0.005, 0.0002, 0.0005	Switzerland	Bannert and Stamp 2007
105, 125, 150, 200, 4125	0.003, 0.01, 0.007, 0.009, 0.006	Switzerland	Bannert and Stamp 2007
10, 50, 100, 150, 200, 400, 500, 600, 700, 800	3.3, 0.3, 0.4, 0.3, 0.5, 0.02, 0.08, 0.79, 0.18, 0.21	Chechenia	Salamov 1940
1, 5, 10, 20, 30, 34	0.4, 0.1, 0.01, 0.01, 0.005, 0.003	Brazil	Paterniani and Stort 1974
> 184	0.01	Mexico	García et al. 1998
1, 50, 100, 200, 400	22.6–56.8, 1.2, 0.23, 0.06, 0.04	Japan	Matsuo et al. 2004
100, 200, 300, 400, 500, 600	2.9, 0.5, 0.15, 0.06, 0.01, 0.001	India	Narayanaswarmy et al. 1997
125, 200, 427	8.9, < 3, 1	n.a.*	Jones and Newell 1948

Relaciones de parentesco



Crédito: Francisca Acevedo, CONABIO, México

El maíz pertenece a la subtribu Maydea, dentro de la cual se encuentra el género Tripsacum y Zea, este último constituido por el maíz cultivado y los llamados teocintles. Las relaciones de parentesco entre estos grupos se muestra en la figura, se observa que el teocintle es el grupo más emparentado con el maiz cultivado.

Zea mays subsp. huehuetenangensis

- No existen reportes de híbridos espontáneos (Anderson y de Vicente, 2010). Remotamente se hibridiza con el maíz (Wilkes, 1977)
- Usando marcadores moleculares no se ha encontrado evidencia de flujo genético (Fukunaga *et al.* 2005)
- Algunas poblaciones presentan barreras para hibridación (Kernicle *et al.* 2006)
- Es muy similar a Z. subsp. parviglumis.
- Existe posibilidad de flujo genético e introgresión con maíz (Andersosn y de Vicente, 2010)

Zea luxurians

- No existen reportes de híbridos (Anderson y de Vicente, 2010)
- Cromosomas citológicamente distintos a los del maíz (Beadle, 1932)
- Híbridos maíz X Z. luxurians presentan dos o más cromosomas que no se aparean durante la metafase.
- Híbridos parcialmente estériles.
- Alelos isoenzimátivos propios de maíz aparecen en poblaciones de teocintle (Doebley *et al.* 1984, Doebley, 1990). Su frecuencia es baja, no se considera evidencia de introgresión.
- Estudios moleculares no reportan evidencia de flujo genético e introgresión (Fukunga *et al.,* 2005)
- Se requiere de más estudios experimentales de campo y de análisis genético (Anderson y de Vicente, 2010)

ESPECIES DE TRIPSACUM

Tripsacum es el género más cercano a *Zea*. Número básico de cromosomas es X= 18 (hay diploides, triploides y tetraploides), 12 especies son nativas de México y Guatemala.

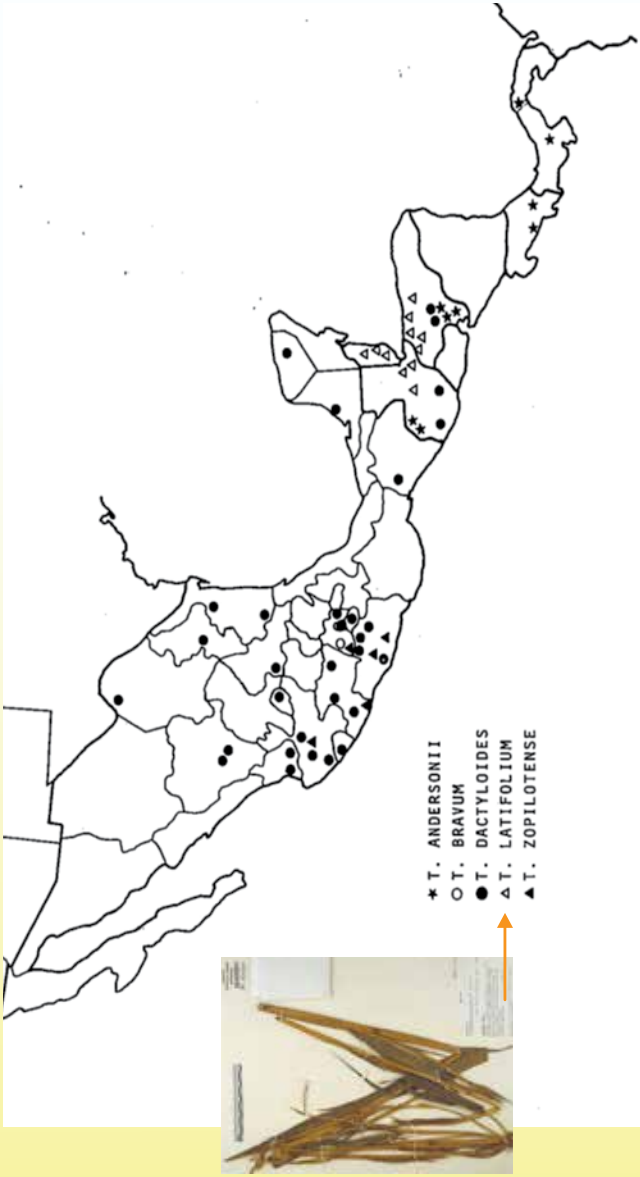


Fig. 4A. Distribution of *Tripsacum* in Mexico and Central America. Section *Tripsacum*.

Créditos: Doebley (1983)

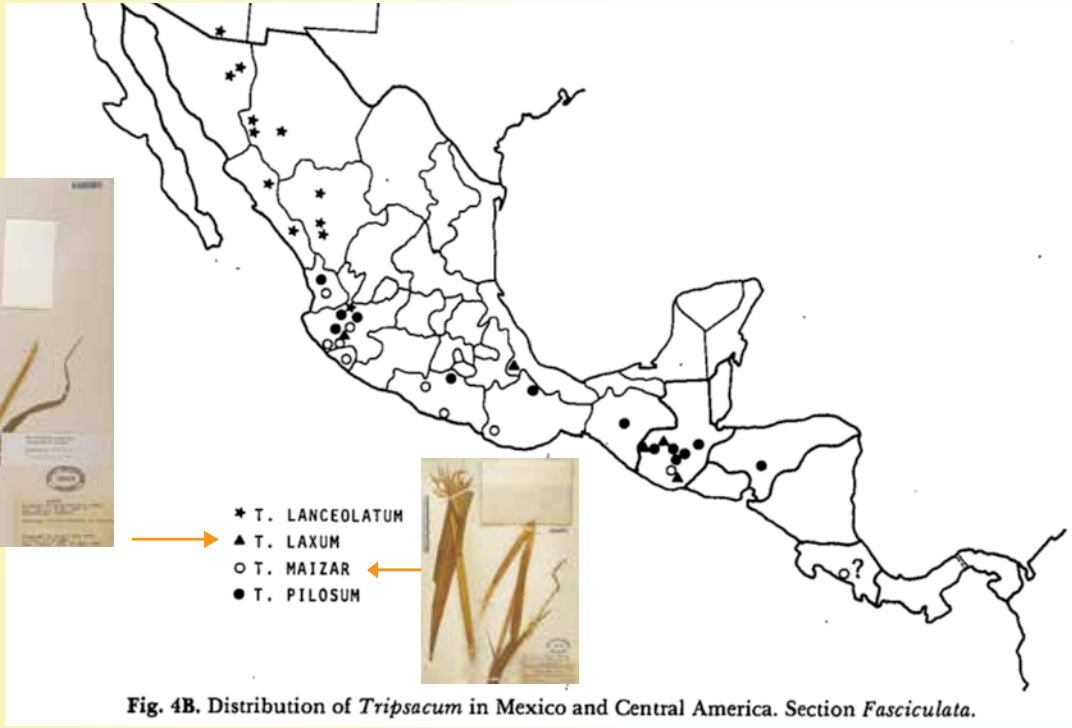


Fig. 4B. Distribution of *Tripsacum* in Mexico and Central America. Section *Fasciculata*.

Créditos: Doebley (1983)

Distribución potencial de Tripsacum latifolium

Distribución potencial de Tripsacum laxum

Zea mays subsp. huehuetenangensis

- Se encuentra solamente en el departamento de Huehuetenango, específicamente en el área de los Huistas. Se presenta a orillas de terrenos de cultivo, de carreteras, o bien como arvense dentro del cultivo del maíz. Es frecuente en las orillas de los cerros. Algunas veces se puede encontrar plantas de frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris*) enredadas en los tallos de este maíz silvestre. Las localidades en las que se presenta varían en altitud desde 860 a 1,700 msnm. Conocido como Salic o milpa de rayo.

- Su distribución está disminuyendo. Wilkes (1993) reportó presencia de solamente 10% de la distribución observada en 1963.
  El patrón de distribución de nudos cromosómicos es muy similar al de *Z. diploperennis* (nudos terminales), indicando similutes con la sección Luxuriantes.

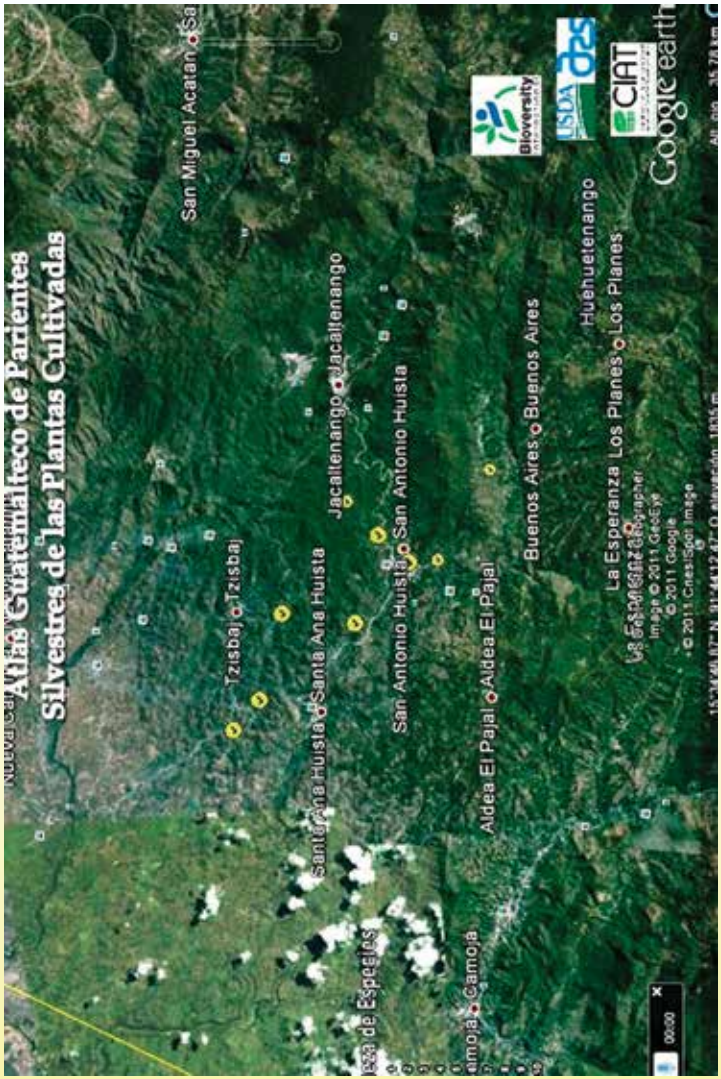
- Diversidad isoenzimática intemerdia entre *Zea* y Luxuriantes. Morfología de inflorescencia masculina, datos de AND de cloroplasto, morfología de planta y de semilla soportan su actual posición taxonómica.

Créditos:
Sergio Hidalgo

Distribución potencial de Zea mays subsp. huehuetenangensis

(Azurdia *et al.* 2011)

Detalle de la distribución de Zea mays subsp. huehuetenangensis



(Azurdia *et al.* **2011)**

Zea luxurians

- Se encuentra en la zona seca del oriente de Guatemala, en los departamentos de Jutiapa, Jalapa y Chiquimula. Crece en áreas abandonadas, a orillas de caminos, como maleza dentro del cultivo de maíz, arroz o sorgo, dentro de áreas con vegetación secundaria, algunas veces formando poblaciones puras.
- Está distribuido en localidades que varían de 850 a 1,150 msnm. Posiblemente se puede encontrar en algunas otras áreas del departamento de Jutiapa.
- Distribuido en el mundo utilizándose como alimento animal, conocido como raza Guatemala, teocintle o milpa silvestre.
- Su área de distribución se está reduciendo, Wilkes (1993) reporta una reducción del 75% en el número y tamaño de poblaciones de 1962-63 a 1991. A mayor altitud presenta abundantes ramas laterales que lo hacen parecerse al patrón de ramificación de Tripsacum.
- Los nudos cromosómicos grandes y terminales son más numerosos que en cualquier otro teocintle anual y refleja la relación de parentesco lejana con los teocintles mexicanos anuales.

Crédito: César Azurdia

Crédito: César Azurdia

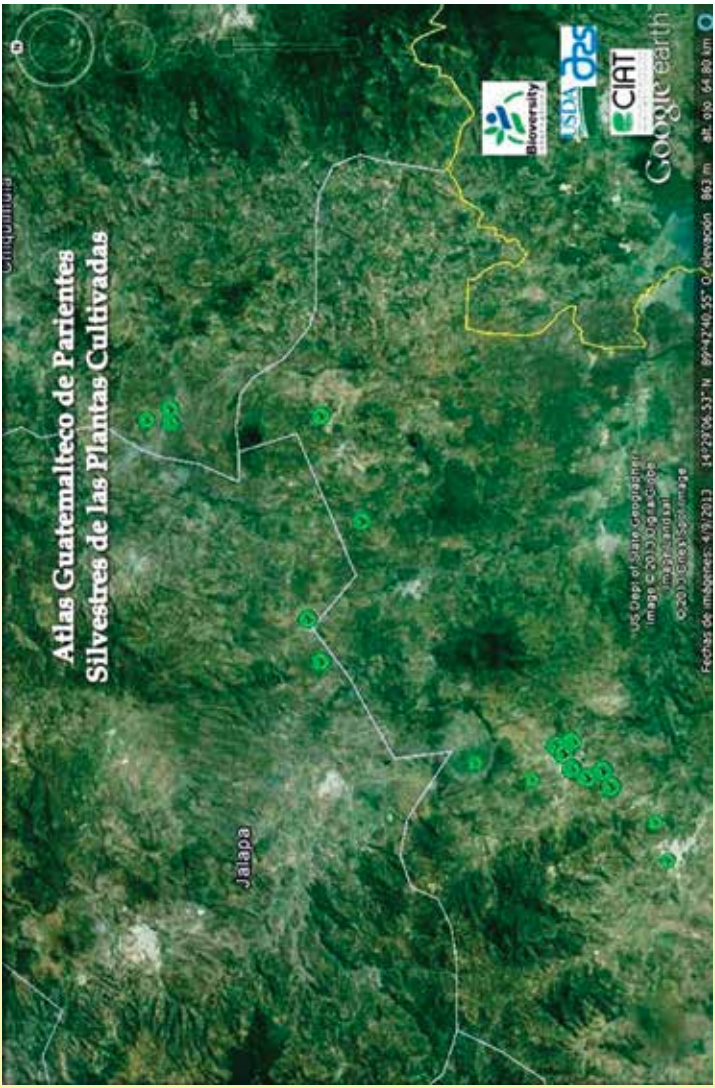
Crédito: César Azurdia

Crédito: César Azurdia

Distribución potencial Zea luxurians

(Azurdia *et al.* 2011)

Detalle de la distribución de Zea luxurians

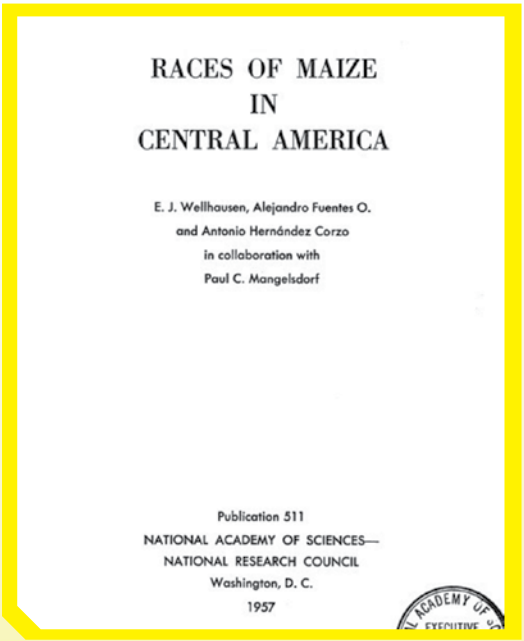


(Azurdia *et al.* 2011)

DIVERSIDAD DEL MAÍZ EN GUATEMALA

Siendo Guatemala parte del centro de origen y diversidad del maíz, es de esperarse que en su territorio se encuentre gran diversidad genética. De esta manera, estudios conducidos a mediados del siglo pasado mostraron que en Guatemala existen por lo menos 13 razas y 9 subrazas (Wellhausen et al. 1957). No habiéndose realizado ningún trabajo posterior.

En esta publicación se encuentra información general sobre cada raza y subraza (características morfológicas de la planta, de la mazorca y del grano, así como su distribución reportada).



RACES OF MAIZE
IN
CENTRAL AMERICA

E. J. Wellhausen, Alejandro Fuentes O.
and Antonio Hernández Corzo
in collaboration with
Paul C. Mangelsdorf

Publication 511
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES—
NATIONAL RESEARCH COUNCIL
Washington, D. C.
1957

RAZAS DE MAÍZ DE GUATEMALA

TABLE 2. Races of Maize of Guatemala, Compared in Characters of the Plants.

Race	Aver. Alt. (ft.)	Days to flowering	Height cm.	Leaves				Plant Color	Pubescence
				No.	Length cm.	Width cm.	Veins (No.)		
Nal-Tel Amarillo Tierra Baja	2658	90	141	13.0	80	9.2	25.3	1.2	1.0
Nal-Tel Blanco Tierra Baja	3350	83	145	13.3	85	7.3	27.3	1.0	1.0
Nal-Tel Amarillo Tierra Alta	7412	103	281	16.0	100	11.1	26.5	2.2	2.1
Nal-Tel Blanco Tierra Alta	7700	93	233	15.0	108	10.3	26.3	1.0	2.1
Nal-Tel Ocho	7825	99	297	16.3	105	10.5	26.0	2.0	1.7
Imbricado	7650	100	311	15.6	115	10.6	25.2	1.4	2.1
Serrano	9060	83	253	14.0	94	11.4	26.4	2.3	2.1
San Marceño	7834	103	295	16.1	107	10.2	24.5	2.2	1.8
Quicheño (all collections)	6892	115	290	16.3	107	9.6	26.0	1.7	2.0
Quicheño, Early	6740	104	279	15.3	101	10.3	26.6	1.8	2.1
Quicheño, Late	7030	125	325	17.6	117	9.3	25.6	1.5	1.5
Quicheño, Rojo	6000	115	260	15.0	95	8.0	28.0	1.0	1.0
Quicheño, Grueso	7218	116	275	16.5	101	10.5	25.0	1.5	1.3
Negro de Chimaltenango	6985	121	298	17.2	105	10.9	27.3	1.8	2.1
Negro de Tierra Fría	8557	87	255	13.9	95	10.5	24.1	2.6	2.5
Negro de Tierra Caliente	2110	94	173	14.8	87	8.9	25.0	1.0	1.0
Salpor	7980	90	288	16.4	104	9.0	25.2	1.4	2.5
Salpor Tardío	8088	115	291	16.3	98	7.8	23.0	1.8	2.6
Olotón	5993	122	323	18.0	117	9.7	26.6	1.3	1.4
Comiteco	5606	119	306	18.3	115	9.9	28.0	1.5	1.3
Dzit-Bacal	2950	98	170	14.3	91	9.5	23.3	1.3	1.3
Tepecinele	720	117	170	16.4	86	10.1	27.2	1.6	1.2
Tuxpeño	350	125	205	18.5	113	12.5	32.0	1.5	1.0

Fuente: Wellhausen et al. (1957)

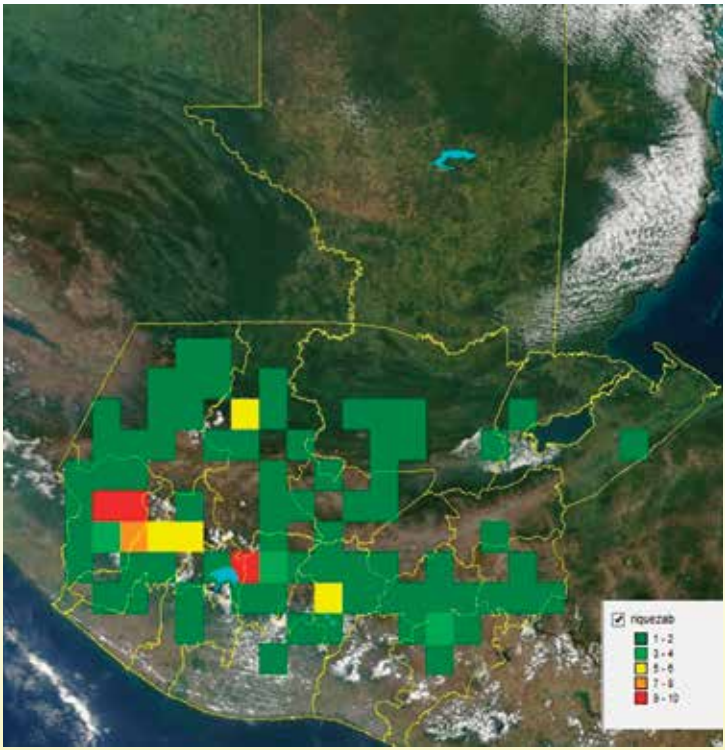
RAZAS DE MAÍZ DE GUATEMALA

TABLE 3. Races of Maize of Guatemala Compared in Characters of the Ears and Kernels.

Race	Ear					Kernels			
	Length cm.	Diam. cm.	No. Rows	Diam. Pedunele mm.	Aleurone color	Width mm.	Thickness mm.	Length mm.	Dentig
Nal-Tel Amarillo									
Tierra Baja	11.2	3.4	11.7	10.2	1.5	8.3	4.1	9.4	1.4
Nal-Tel Blanco									
Tierra Baja	13.0	3.4	12.0	10.3	1.5	8.4	3.9	9.7	2.0
Nal-Tel Amarillo									
Tierra Alta	14.0	3.7	12.0	10.5	2.5	8.0	5.5	8.3	1.0
Nal-Tel Blanco									
Tierra Alta	13.0	3.4	12.0	12.7	1.7	7.8	4.7	8.5	1.3
Nal-Tel Ocho	15.0	4.1	11.0	14.6	4.2	10.2	4.8	11.4	1.8
Imbricado	16.2	4.8	14.4	14.3	2.2	8.6	4.6	13.0	1.6
Serrano	12.8	3.4	10.5	13.5	1.9	10.0	5.2	10.4	1.4
San Marceño	16.5	4.1	9.9	15.9	2.0	11.1	5.7	11.7	1.9
Quicheño (all collections)	13.8	3.6	12.5	11.2	1.8	8.7	4.8	7.2	1.3
Quicheño Early	13.5	3.6	13.0	11.3	1.8	8.2	4.9	9.1	1.0
Quicheño Late	14.0	3.6	12.3	11.1	2.0	8.4	5.8	8.9	1.2
Quicheño Rojo	13.1	3.4	Irreg.	7.1	1.0	7.0	4.8	6.8	2.0
Quicheño Grueso	12.0	7.1	14.0	7.7	1.0	8.0	6.0	8.0	1.0
Negro de Chimaltenango	15.8	3.9	10.3	12.5	1.9	9.9	5.2	10.3	1.1
Negro de Tierra Fría	14.1	4.1	10.3	14.3	1.1	10.1	5.2	11.4	1.2
Negro de Tierra Caliente	14.1	4.1	11.5	12.6	1.4	9.2	4.2	9.9	1.3
Salpor	19.7	5.7	13.0	23.5	1.2	11.8	5.9	13.1	1.2
Salpor Tardio	15.8	4.6	11.0	14.1	1.8	10.9	6.2	11.9	1.3
Olotón	21.1	4.5	12.6	16.0	1.6	9.7	5.5	10.6	1.5
Comiteco	20.1	4.9	13.1	18.4	1.7	10.2	5.1	11.5	1.7
Dzit-Bacal	17.2	3.8	9.2	9.1	1.7	10.2	4.3	10.8	2.2
Tepecintle	18.4	4.7	14.0	14.6	2.1	9.1	4.5	10.6	1.9
Tuxpeño	17.8	4.9	14.0	17.1	1.4	9.3	4.2	12.6	2.0

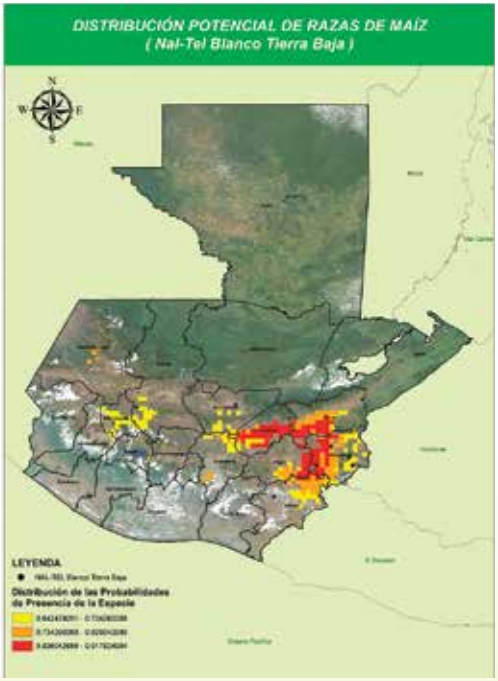
Fuente: Wellhausen et al. (1957)

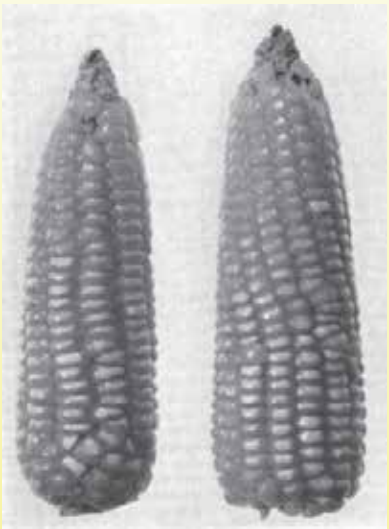
Riqueza de razas de maíz en Guatemala



Raza Nal Tel

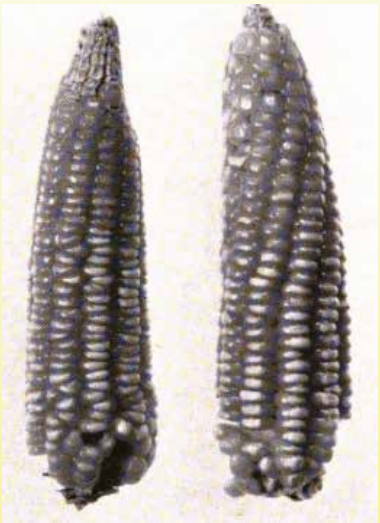
Subraza Nal-Tel Blanco de Tierra Baja





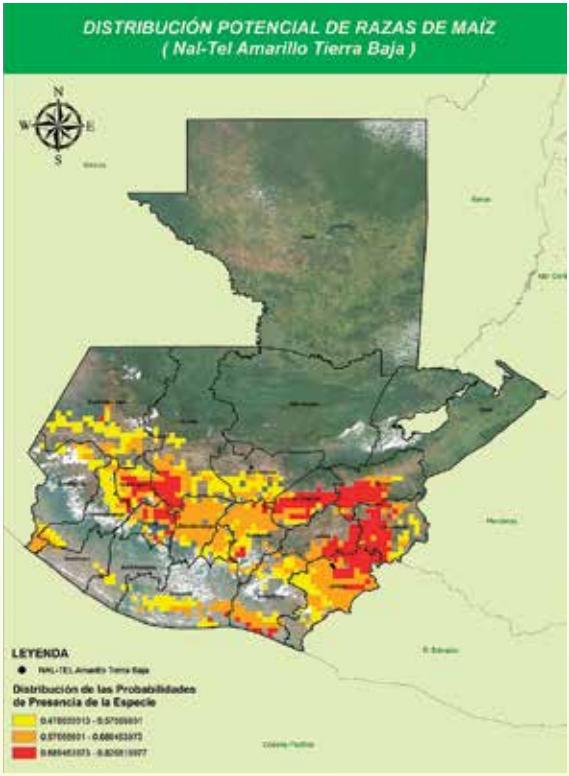
Raza Nal Tel

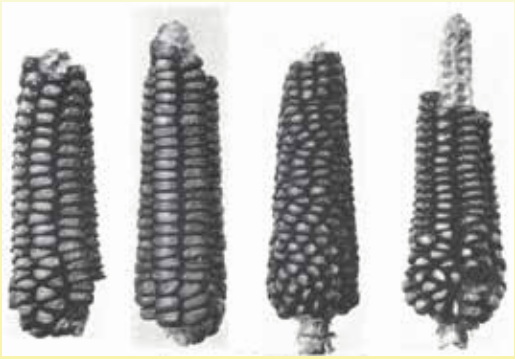
Subraza Nal-Tel ocho



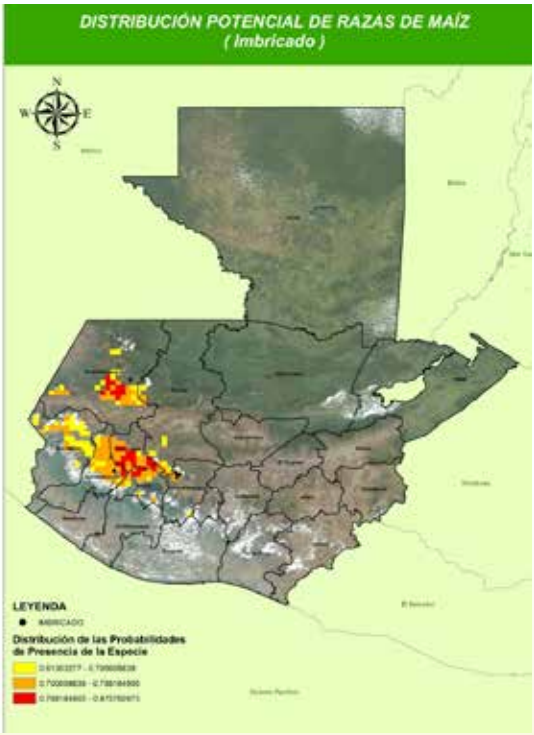
Raza Nal Tel

Subraza Nal-Tel Amarillo de Tierra Baja

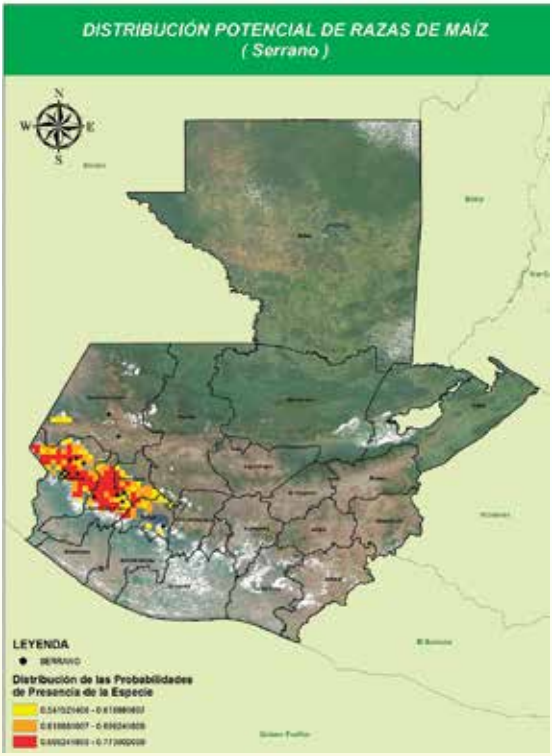




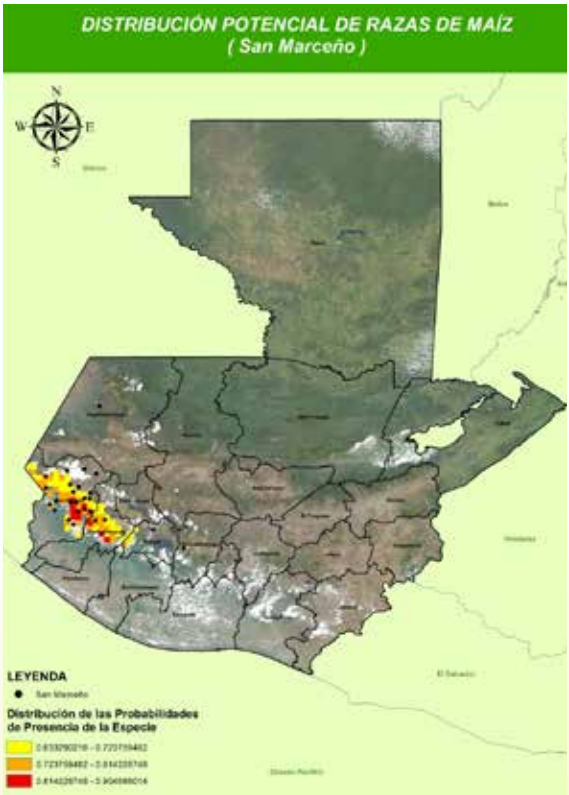
Raza Imbricado



Raza Serrano



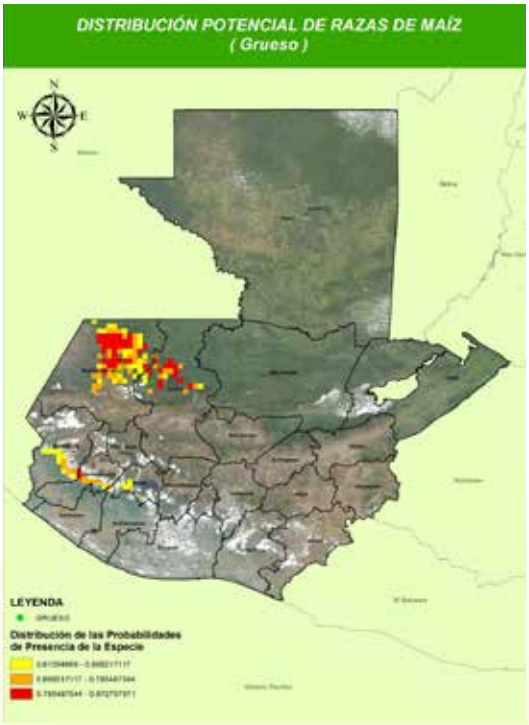
Raza San Marceño

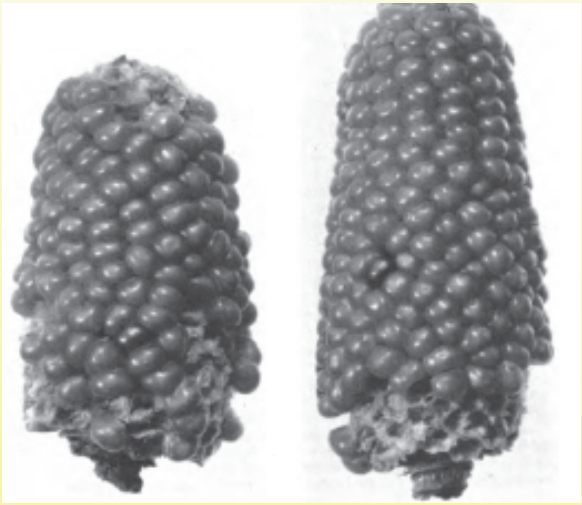


Raza Quicheño

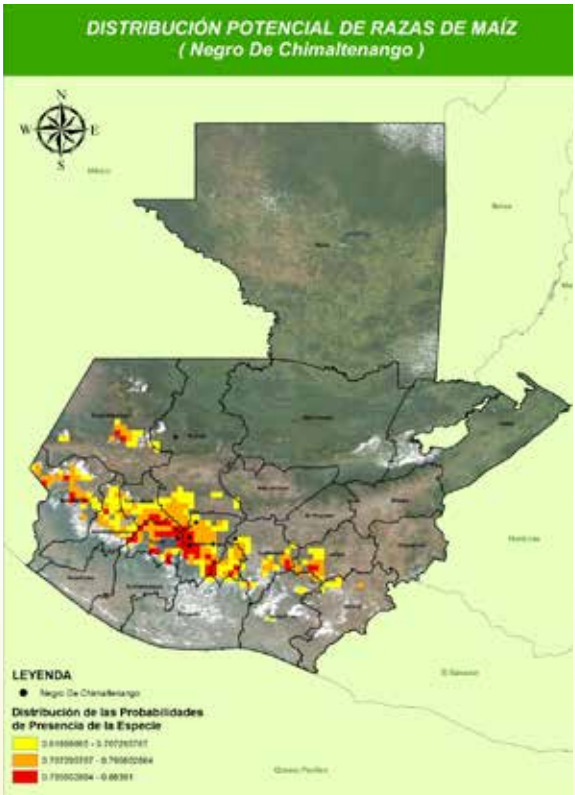
Raza Quicheño

Subraza Grueso



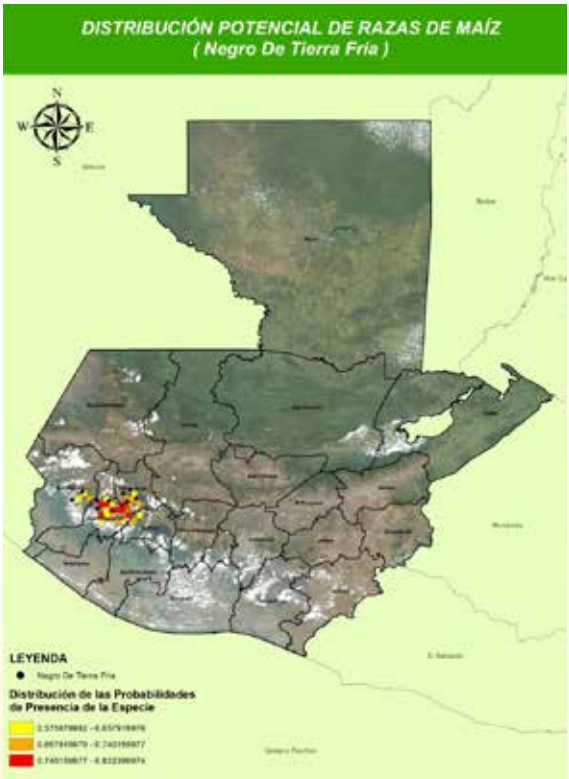


Raza Negro de Chimaltenango



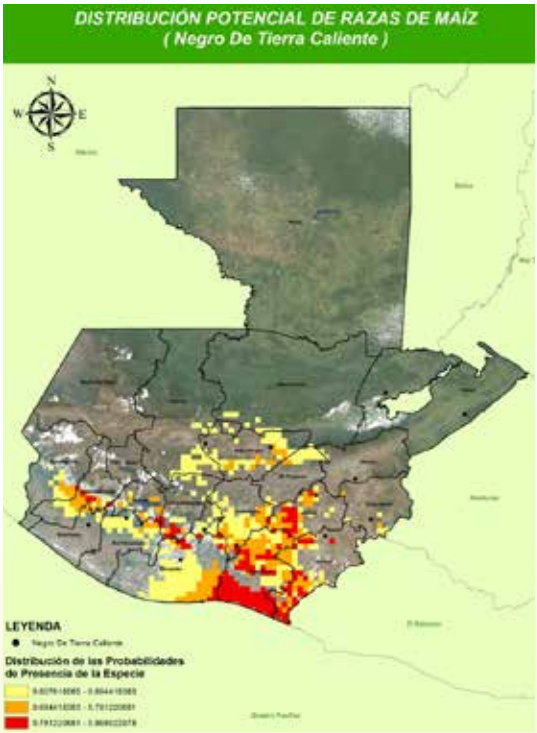
Raza Negro de Chimaltenango

Subraza Negro de Tierra Fría

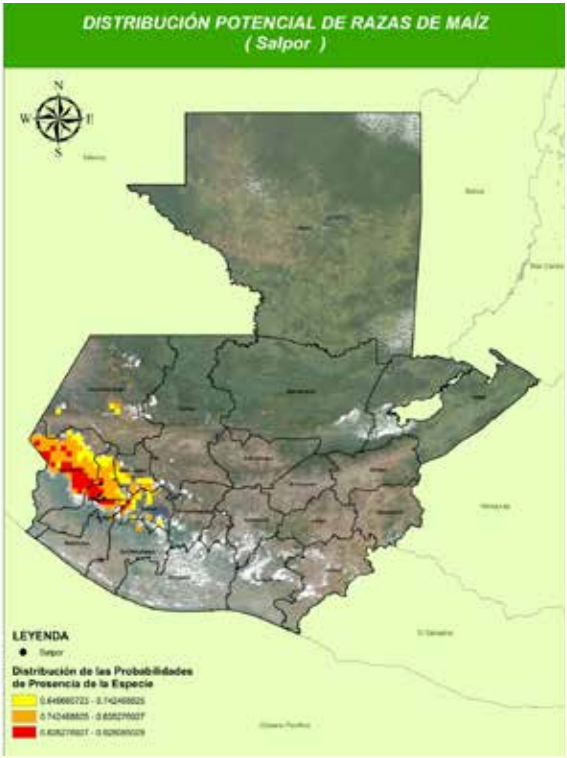


Raza Negro de Chimaltenango

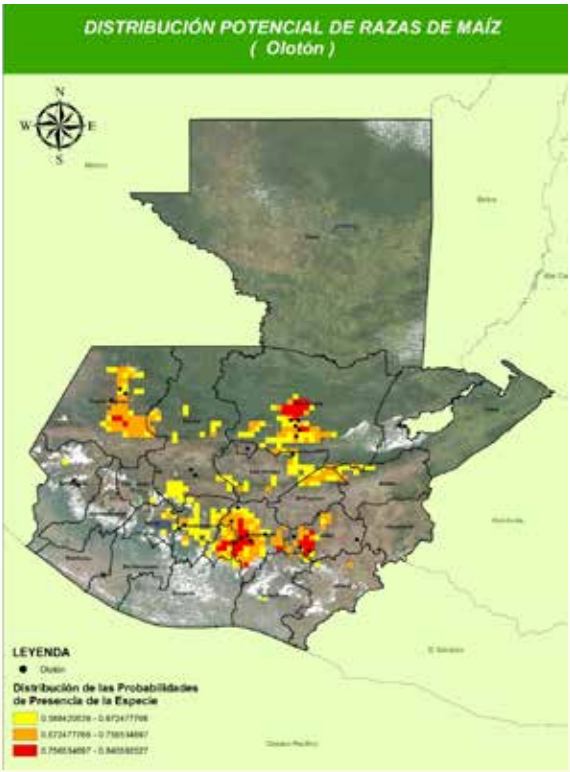
Subraza Negro de Tierra Caliente



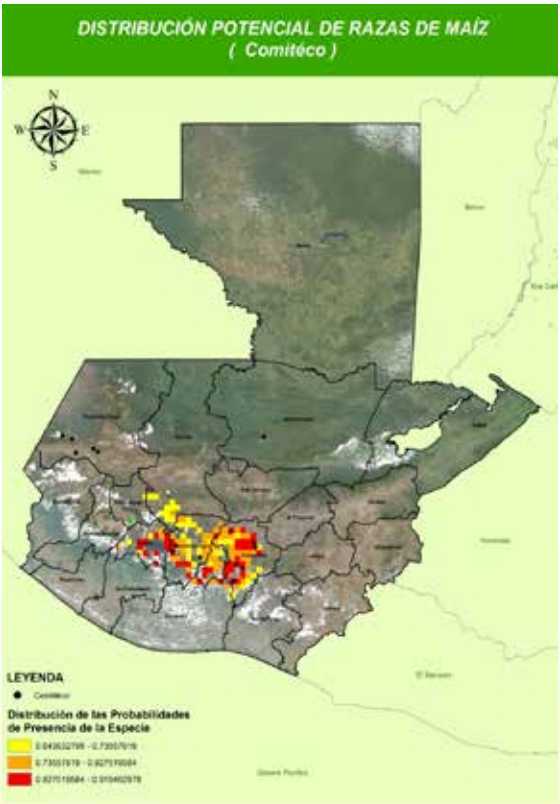
Raza Salpor


DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE RAZAS DE MAÍZ
(Salpor)
N
W
E
S
LEYENDA
Salpor
Distribución de las Probabilidades
de Presencia de la Especie

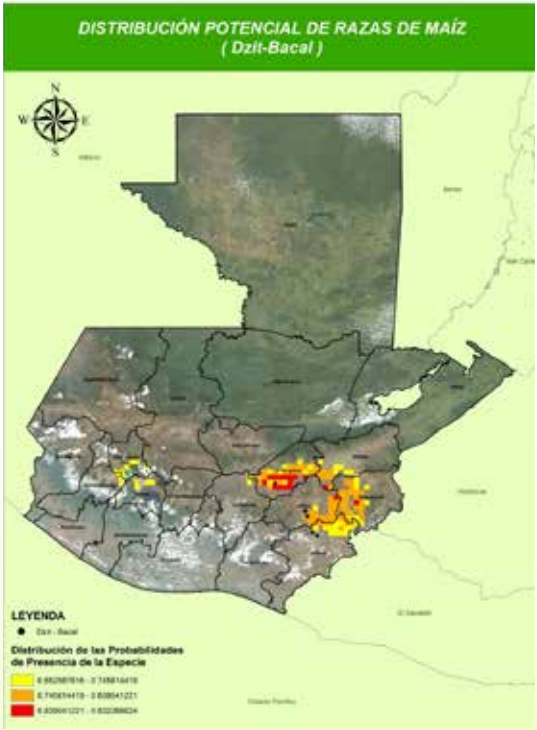
Raza Olotón


DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE RAZAS DE MAÍZ
(Olotón)
N
W
E
S
LEYENDA
Olotón
Distribución de las Probabilidades
de Presencia de la Especie

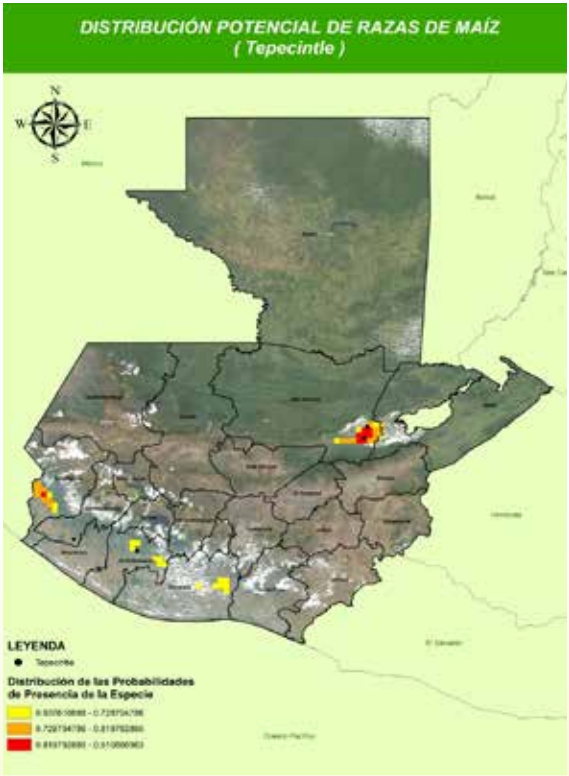
Raza Comiteco



Raza Dzit - Bacal



Raza Tepecintle



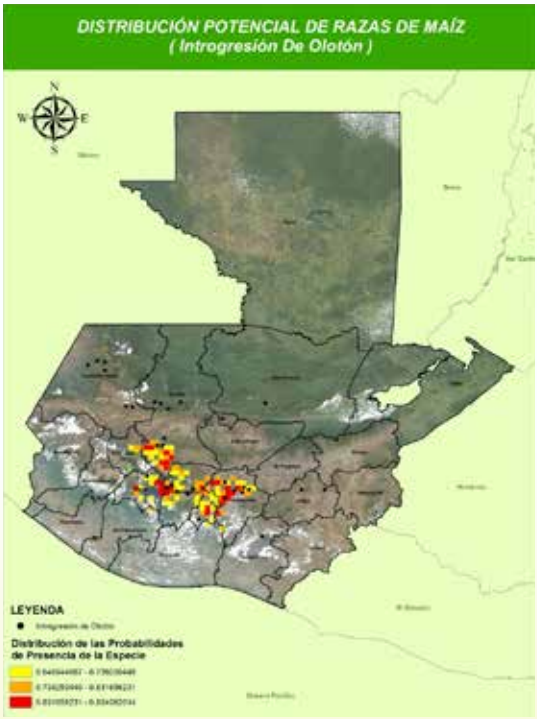
Crédito: Mario Fuentes

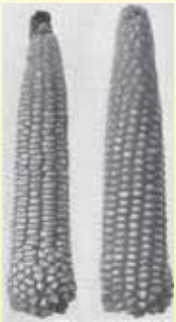
Raza Salpor Tardío

Raza Tuxpeño

Crédito: www.biodiversidad.gob.mx

Algunos ejemplos de introgresión

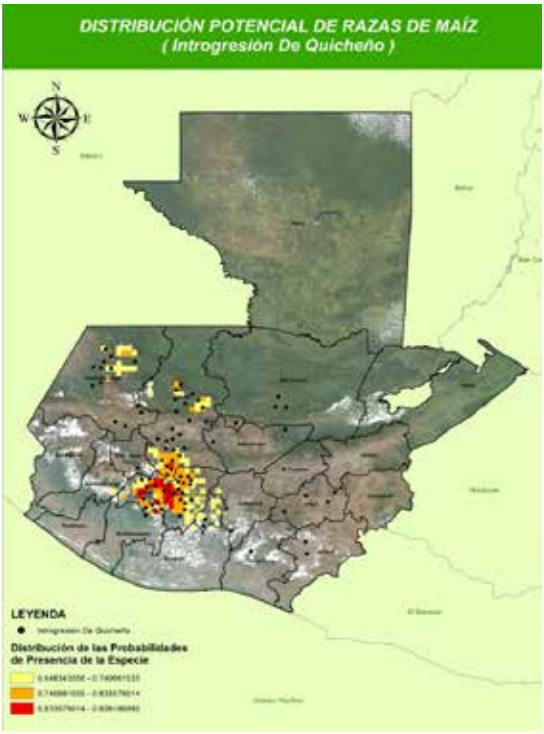


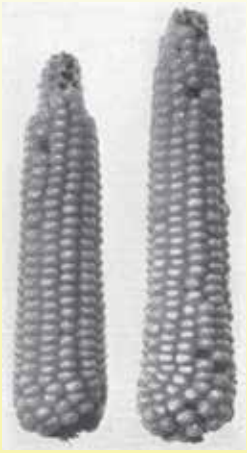


Olotón con mezcla de Nal Tel

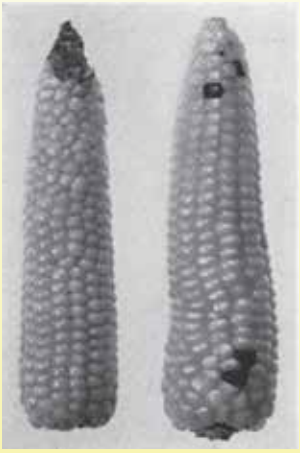
Olotón con mezcla de Nal Tel y Comiteco

Olotón con mezcla de Quicheño





Quicheño con mezcla de Olotón



Quicheño con mezcla de Nal Tel

DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA GM

- Resistencia a insectos Bt.
- Tolerancia a herbicidas.
- Bt-tolerancia a herbicidas.
- Resistencia a virus.
- Mejor calidad y composición del grano.
- Mejor fijación de nitrógeno.
- Tolerancia a la sequía.
- Modificación contenido de lignina.
- Floración temprana.
- Usos médicos (lipasa gástrica en semillas).
- Un carácter que evite el cruce con teocintle ha sido patentado en Estados Unidos.
- El área total mundial de producción de maíz es de 158.9 millones de hectáreas, de las cuales el 23% (37.3 millones de hectáreas) es plantada con maíz genéticamente modificado.

Crédito. Estuardo Solórzano

ESTADO ACTUAL DE LOS OGMs A NIVEL MUNDIAL

NOMBRE COMÚN	ORGANISMO	NUMERO DE EVENTOS REPORTADOS *
Alfalfa	*Medicago sativa* L.	1
Algodón	*Gossypium hirsutum* L.	21
Arroz	*Oryza sativa* L.	5
Betabel	*Beta vulgaris* L.	3
Calabaza	*Cucurbita pepo* L.	2
Canola	*Brassica napus* L.	15
	Brassica rapa L.	2
Chicoria	*Cichorium intybus* L.	1
Ciruela	*Prunus domestica* L.	1
Clavel	*Dianthus caryophyllus L* .	3
Girasol	*Helianthus annuus* L.	1
Jitomate	*Lycopersicon esculentum* Mill. = *Solanum lycopersicum* L.	6
Lenteja	*Lens culinaris* Medik.	1
Lino	*Linum usitatissimum* L.	1
Maíz	***Zea mays* L.**	**58**
Melón	*Cucumis melo* L.	1
Papa	*Solanum tuberosum* L.	5
Papaya	*Carica papaya* L.	2
Pasto	*Agrostis stolonifera* L.	1
Soya	*Glycine max* (L.) Merr	13
Tabaco	*Nicotiana tabacum* L.	2
Trigo	*Triticum aestivum* L.	7
TOTAL	**22 ESPECIES**	**152**

***Basado en la información de la base de datos CERA, que incluye plantas producidas por técnicas de DNA recombinante, mutagénesis o cruzas de eventos (consulta octubre 2013).**

*Basado en la información de la base de datos CERA, que incluye plantas producidas por técnicas de DNA recombinante, mutagénesis o cruzas de plantas (consulta mayo 2011).
http://cera-gmc.org/index.php?action=gm_crop_database

Maize

Status	Event	Company	Trait	Scope
	GA21	Syngenta Seeds SAS	HerbTol	
	MON88017	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	NK604 x T25	Monsanto	HerbTol	
	MON89034 x 1507 x MON88017 x 59122	Dow AgroSciences, Monsanto	InsRes, HerbTol	
	MON89034 x 1507 x NK603	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	Bt11 x MIR162 x 1507 x GA21	Syngenta	InsRes, HerbTol	
	1507 x 59122	Dow AgroSciences / Pioneer Hi-Bred	InsRes, HerbTol	
	59122 x 1507 x NK603	Pioneer Hi-Bred	HerbTol	
	MON88017 x MON810	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	MON89034 x NK603	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	Bt11 x GA21	Syngenta	InsRes, HerbTol	
	Bt11	Syngenta	InsRes	
	MIR604	Syngenta Seeds	InsRes	
	Bt11 x MIR604 x GA21	Syngenta Seeds	InsRes, HerbTol	
	MIR162	Syngenta	InsRes	
	Bt11 x MIR604	Syngenta	InsRes, HerbTol	
	MIR604 x GA21	Syngenta	InsRes, HerbTol	
	Bt11 x MIR604 x GA21	Syngenta Seeds	InsRes, HerbTol	
	MON89034 x MON88017	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	MON863	Monsanto	InsRes	
	MON89034 x MON88017	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	MON863 x MON810 x NK603	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	MON863 x NK603	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	MON863 x MON810	Monsanto	InsRes	
	MON87460	Monsanto	drought tolerance	
	MON89034 x NK603	Monsanto	InsRes, HerbTol	
	MIR604	Syngenta	InsRes	

59122 x NK603	Pioneer Hi-Bred	InsRes, HerbTol	
MON88017	Monsanto	InsRes, HerbTol	
MON89034	Monsanto	InsRes	
Bt11 x MIR162 x GA21	Syngenta	InsRes, HerbTol	
MON810	Monsanto	InsRes	
NK603	Monsanto	HerbTol	
LY038	Renessen LLC	Altered composition	
LY038 x MON810	Renessen LLC	Altered composition, InsRes	
Bt11	Syngenta	InsRes	
1507	Pioneer HiBred	InsRes	
Bt11 x MIR162 x MIR604 x GA21		InsRes, HerbTol	
98140	Pioneer	HerbTol	
T25	Bayer CropScience	HerbTol	
T25	Bayer CropScience	HerbTol	
MON863 x NK603	Monsanto	InsRes, HerbTol	
GA21	Syngenta Seeds SAS	HerbTol	
59122	Pioneer Hi-Bred / Mycogen Seeds	InsRes, HerbTol	
1507 x NK603	Pioneer Hi-Bred / Mycogen Seeds	InsRes, HerbTol	
NK603 x MON810	Monsanto	InsRes, HerbTol	
1507 x 59122	Mycogen Seeds (Dow AgroScience)	InsRes, HerbTol	
59122 x 1507 x NK603	Pioneer Hi-Bred	InsRes, HerbTol	
3272	Syngenta Seeds SAS	Altered composition	
Bt11	Syngenta	InsRes	
MON810	Monsanto	InsRes	
GA21 x MON810	Monsanto	InsRes, HerbTol	
T25	Bayer CropScience	HerbTol	
Bt176	Syngenta	InsRes	
59122	Pioneer / Myogen Seeds	InsRes, HerbTol	
NK603 x MON810	Monsanto	InsRes, HerbTol	
59122 x NK603	Pioneer HiBred / Mycogen	InsRes, HerbTol	
1507 x NK603	Pioneer Hi-Bred	InsRes, HerbTol	
1507	Pioneer / Dow AgroScience	InsRes, HerbTol	
MON863 x MON810	Monsanto	InsRes	
MON863	Monsanto	InsRes	
NK603 x MON810	Monsanto	InsRes, HerbTol	
MON863	Monsanto	InsRes	
MON863 x NK603	Monsanto	InsRes, HerbTol	
NK603	Monsanto	HerbTol	
Bt11	Syngenta	InsRes	

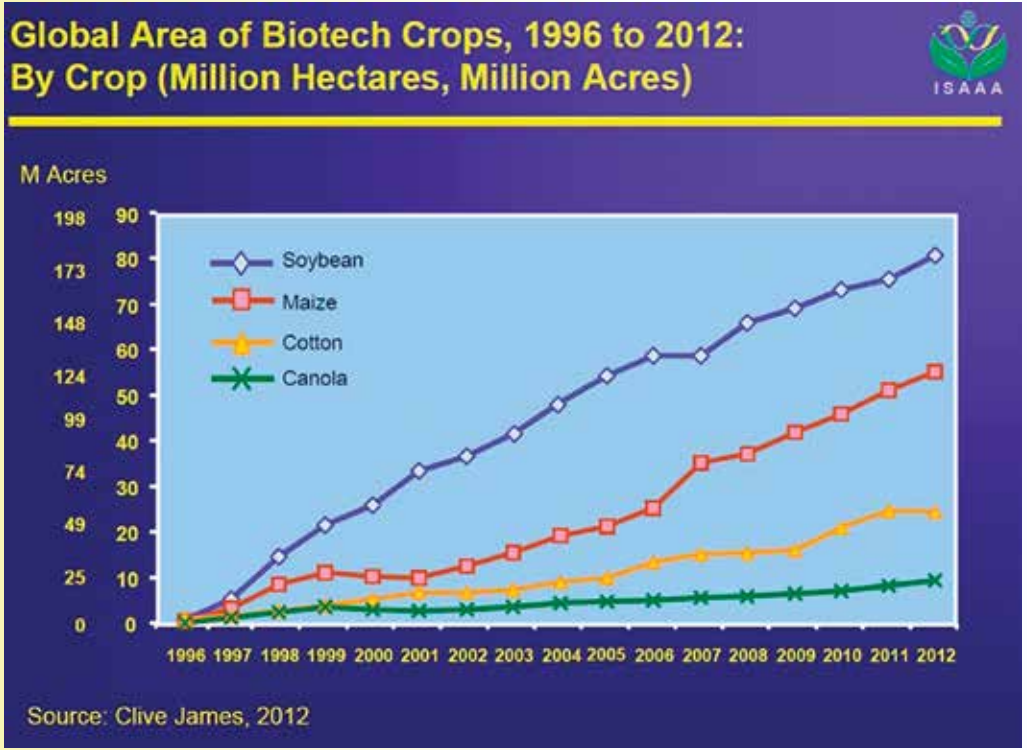
Scope

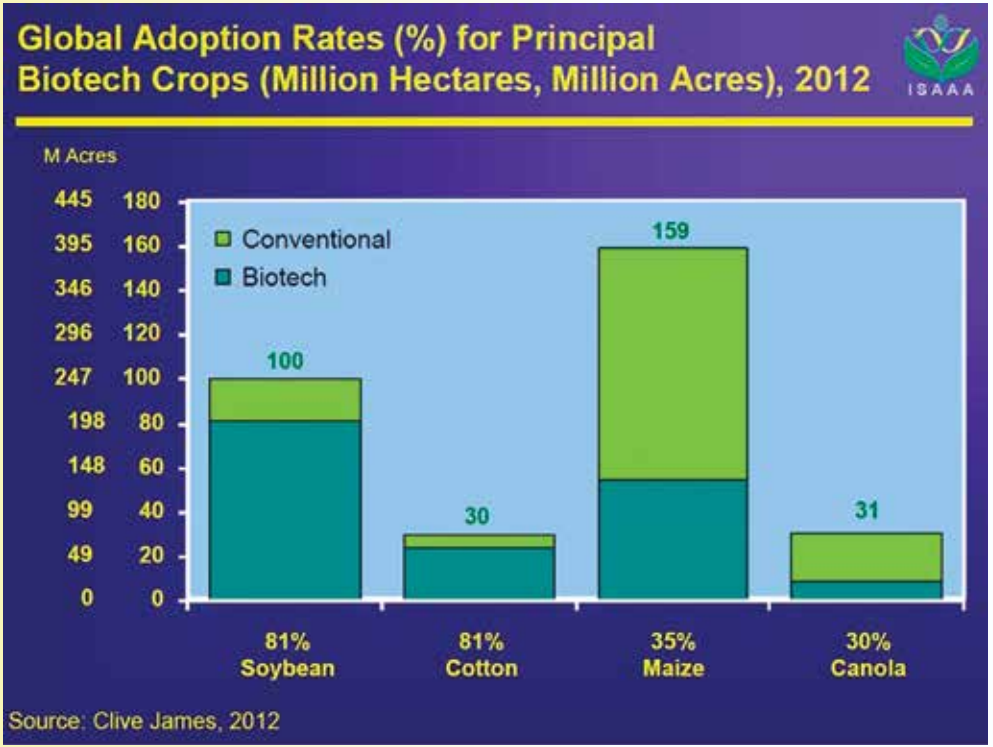
	Food and Feed
	Import and processing
	Cultivation

Current Status

	Application submitted
	Risk assessment report
	Valid authorisation
	Notified as "existing product" *
	Authorisation no longer valid

Crédito: http://www.gmo-compass.org/eng/gmo/db/


Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2012:
By Crop (Million Hectares, Million Acres)
ISAAA
M Acres
198
173
148
124
99
74
49
25
0
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Soybean
Maize
Cotton
Canola
1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012
Source: Clive James, 2012


Global Adoption Rates (%) for Principal Biotech Crops (Million Hectares, Million Acres), 2012
ISAAA
M Acres
445
395
346
296
247
198
148
99
49
0
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Conventional
Biotech
100
30
159
31
81% Soybean
81% Cotton
35% Maize
30% Canola
Source: Clive James, 2012

Pais	Aprobaciones (importación/uso sin restricciones	Análisis de riesgo	Total
México	49	41	90
Belice	0	0	0
El Salvador	0	1	1
Honduras	3	3	6
Nicaragua	0	15	15
Costa Rica	0	0	0
Panamá	0	0	0

Fuente: http://bch.cbd.int/database/results?searchid=595022. 23 /12/12

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

- Guatemala es parte del centro de origen y diversidad del maíz, existiendo gran diversidad genética en los materiales cultivados así como la presencia de dos especies de maíz silvestre.

- Se reportan 13 razas y 9 subrazas de maíz, sin embargo, se considera que es necesario hacer una nueva revisión científica para establecer claramente esta información. Es altamente probable que la diversidad sea más alta, tal como ya fue comprobado en México.

- En Guatemala se ha dado introgresión entre las razas de maíz, de tal manera que en el país existen poblaciones de razas puras y de combinaciones de razas, mismas que son conservadas por los agricultores si les representan ventajas competitivas.

- Es necesario formar personal técnico capacitado en el conocimiento de las razas de maíz de Guatemala.

- Se conoce poco sobre las especies, distribución y diversidad genética de Tripsacum (el otro pariente silvestre del maíz). Estudios recientes en México han mostrado la presencia de mayor número de especies a las anteriormente reportadas.

- Es necesario realizar estudios de diversidad genética del maíz silvestre de Guatemala, así como implementar medidas de conservación *in situ* y *ex situ*.

- Hace falta desarrollar un programa de investigación relativo a la biología del maíz y de sus parientes silvestres. Si bien es cierto hay información que puede orientar el análisis de riesgo requerido para autorizaciones de liberación de maiz GM esta no ha sido generada en regiones de origen del maíz.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

- En general se conoce que los maíces silvestres de Guatemala forman parte del gene pool dos y tres del maíz cultivado, por lo que sus posibilidades de hibridación con el maíz cultivado es baja. Además, es reconocido que el cruce del maíz con Tripsacum es poco probable. Sin embargo, existe una opinión generalizada que es necesario desarrollar estudios más detallados.

- El maíz GM es de amplia utilización y aceptación en muchos países tanto desarrollados como en desarrollo, por lo que la tendencia mundial es que en un futuro cercano la mayor parte del cultivo de maíz sea de origen GM.

- Siendo el maíz un producto de primordial importancia en Guatemala, no solo como base de la seguridad alimentaria sino también por su importancia cultural, histórica y religiosa, es necesario contar con una normativa adecuada que permita el uso del mismo (si es que se acepta su uso). Esta normativa deberá responder adecuadamente ante la necesidad de conservar los recursos genéticos nativos del maíz así como al mantenimiento del conocimiento tradicional asociado.

- Una medida adecuada sería el establecimiento de zonas restringidas para el cultivo de maíz GM. Esto requiere de conocimiento científico que llegue a establecer regiones que comprenden centros de origen y diversidad de maíz en Guatemala. Un ejemplo es lo que se ha realizado en México.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, M.S. and de Vicente, M.C. 2010. Gene flow between crops and their wild relatives. The Johns Hopkins University Press. 564 p.

- Azurdia, C., Williams, K.A., Williams, D.E., Van Damme, V. Jarvis, A., and Castaño, S.E. 2011. Guatemalan Atlas of Crop Wild Relatives. Available at http://www.ars.usda.gov/Services/docs.html?docid=22225 United States Department of Agriculture/Agricultural Research Service (USDA/ARS); Bioversity International; International Center for Tropical Agriculture (CIAT); and the University of San Carlos in Guatemala (FAUSAC).

- Beadle, G.W.1932. Studies of Euchlaena and its hybrids with Zea:I. Chromosome behavior in Euchlaena mexicana and its hybrids with Zea mays. Z. Abst. Vererb. 62:291-209

- Diaz, E. y Azurdia, C. 2002. The role of women in the conservation of the genetic resources of maize. Gender and genetic resources management. FAO, IPGRI.

- Doebley, J.F. 1983. The taxonomy and evolution of Tripsacum and teosinte, the closest relatives of maize. In: Gordon, D.T., Knoke, J.K., Nault, L.R., and Ritter, R.M. Proceedings International Maize Virus Disease Colloquium and Workshop, 2-6 August 1982. The Ohio State University, Ohio, Agricultural Research and Development Center, Wooster. 266 p.

- Doebley, J.F. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. Econ. Bot. 44:6-27

- Doebley, J. 2004. The genetics of maize evolution. Annual Review Genetics 38: 37-59.

- Doebley, J.F., Goodman, M.M., and Stuber, C.W. 1984. Isoenzymatic variation in Zea (Gramineae). Syst. Bot. 9:203-218.

BIBLIOGRAFÍA

- Fuentes, M. 1995. Desarrollo de germoplasma de maíz para el altiplano de Guatemala. Presentado en la XVI Reunión Andina, Bolivia.

- Fukunaga, K., Hill, J., Vigouroux, Y., Matsuoka, Y., Sanchez, J., Liu, K., Buckler, E. and Doebley, J. 2005. Genetic diversity and population structure of teosinte. Genetics 169: 2241–2254

- Goodman, M. M. 1995. Maize. Zea mays (Graminea-Maydeae). In: Smartt, J., and Simmonds, N.W. (eds.). Evolutionof Crop Plants. 192-202.

- Iltis, H. H., Kolterman, D.A. and B.F. Benz1, B.F. 1986. Accurate documentation of germplasm: The lost Guatemalan teosintes (Zea Gramineae). Economic Botany 40(1):69-77.

- Kato, T.A., Mapes, C., Mera, L.M., Serratos, J.A. y Bye, R.A. 2009. Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp.

- Kempton, J.H. and Popenoe, W. 1937. Teosinte in Guatemala. Carnegie Inst. Wash. Publ. 483:199-218.

- Kernicle, J.L., Evans, M.M.S., and Gerrish, S.R. 2006. Cross – Incompatibility traits from teosinte and their us in corn. US Patent 7074984, filed March 20, 2001, and issued July11, 2006.

- Mastsuoka, Y., Vigourous, Y., Goodman, M.M, Sanchez, J., Buckler, E. and Doebley, J. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. PNAS 99(9): 80-84

BIBLIOGRAFÍA

- McBryde, F.W. 1945. Cultural and Historical Geography of Southwest Guatemala. Smithsonian Inst. Publ. 4:1-184.
- Wellhausen, E.J., Fuentes O., A., Hernández Corzo, A. and Mangelsdorf, P.C. 1957. Races of maize in Central America. Academy of Sciences, National Research Council, Washington, DC, USA.
- Wilkes, H.G. 1977. Hybridization of maize and teosinte in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. Econ. Bot. 31:254-293.
- Wilkes, H.G. 1993. Conservation of maize crop relatives in Guatemala. En: C.S. Potter, J.I. Cohen y D. Janczewski (eds.): Perspectives on Biodiversity. Division of the American Association for the Advancement of Science. p. 75-88.
- Wilkes, G. 2007. Urgent notice to all maize researchers: disappearance and extinction of the last wild teosinte population is more than half completed. A modest proposal for teosinte evolution and conservation in situ: the Balsas, Guerrero, Mexico. Maydica 52:49-58