



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

Yuca (*Manihot esculenta*)





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 "Desarrollo 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).

Publicación 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 Azurdía
Licda. Mariana del Cid
Licda. Mónica Barillas
Lic. Msc. José Luis Echeverría

Autor

Dr. César Azurdía

Coordinador

Dr. César Azurdía

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:

Azurdía, C. 2014. Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados. Yuca (*Manihot esculenta*). Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Documento Técnico No. 13-2014. 45 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](http://www.chmguatemala.gob.gt/página%20especializada%20en%20Diversidad%20Biológica)

[www.bchguatemala.gob.gt/página especializada en Biotecnología Moderna](http://www.bchguatemala.gob.gt/página%20especializada%20en%20Biotecnología%20Moderna)



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.



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



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. Miguel Ángel López
Secretario Ejecutivo
Comisión Nacional de Áreas Protegidas
CONAP





Índice

▶ Presentación General	10
▶ Introducción	12
▶ Centro de origen y diversidad	13
▶ Especies silvestres	14
▶ Origen de la yuca	19
▶ Diversidad de yuca cultivada en Guatemala	21
▶ Diversidad molecular	23
▶ Diversidad fenotípica	28
▶ Información biológica	33
▶ Dispersión y longevidad del polen	34
▶ Reproducción sexual	35
▶ Reproducción asexual	36
▶ Plantas voluntarias, ruderales y su persistencia	37
▶ Capacidad invasiva y maleza	37
▶ Capacidad de cruzamiento	38
▶ Flujo genético y distancias de aislamiento	40
▶ Desarrollo de la tecnología GM	41
▶ Conclusiones y reflexiones	42
▶ Bibliografía	44



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 línea 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

La yuca es un cultivo de importancia en la alimentación mundial, especialmente para América del Sur y de los países africanos. En Guatemala no tiene la importancia que tienen otras especies como el maíz y el frijol, sin embargo, se encuentra distribuida en amplias regiones cálida húmeda y cálida seca, llegando hasta zonas con clima templado. Trabajos conducidos por investigadores guatemaltecos así como de centros internacionales desarrollados a finales de la década pasada así como a principios de la presente década han mostrado la amplia diversidad genética existente en el país, a tal grado que se confirma el planteamiento conocido que Guatemala es un centro secundario de diversidad genética, en donde se encuentran genes que no se pueden encontrar en ninguna otra parte del mundo. Esto es importante ya que el mejoramiento futuro de la yuca cultivada puede basarse en materiales genéticos guatemaltecos, lo cual no había sido contemplado con anterioridad.

Debido a la riqueza genética de la yuca presente en Guatemala, es necesario desarrollar más investigación sobre la misma, a la par de desarrollar programas que conserven dicho germoplasma en forma *in situ* y *ex situ*. Esto también aplica a las variedades silvestres presentes en Guatemala, las cuales debido al avance de la frontera agrícola, la urbanización y principalmente por su desconocimiento, están en serios problemas de erosión genética.

La información presentada en este módulo viene a constituir la línea base necesaria para el desarrollo del análisis de riesgo que se debe conducir al momento que se realicen solicitudes de introducción de yucas cultivadas genéticamente modificadas. Se espera que esta información pueda ser útil para orientar las actividades desarrolladas por los personeros de las autoridades nacionales competentes encargados de dar dictámenes. Es necesario recordar que el análisis de riesgo ante la introducción de organismos vivos modificados deben ser basados en ciencia.

CENTRO DE ORIGEN Y DIVERSIDAD

Se cree que se originó en Sur América, en la cuenca sur del Amazonas.



El centro secundario de biodiversidad es México y Centro América, con 17 especies silvestres.



Existen dos centros de diversidad, uno en el centro de Brasil y otro en el Nor-este de Brasil. Hay 80 especies silvestre.

ESPECIES SILVESTRES

La diversidad más amplia del género *Manihot* se encuentra en Brasil (área de diversidad primaria), en la región suroccidental de México y en el noroeste de Guatemala. De acuerdo con Rogers y Appan (1973) en Guatemala se presentan las especies silvestres *Manihot aesculifolia* (Kunth) Pohl y *Manihot rhomboidea* Müll. Arg., esta última con dos subespecies: *M. rhomboidea subsp. rhomboidea* y *M. rhomboidea subsp. microcarpa*.

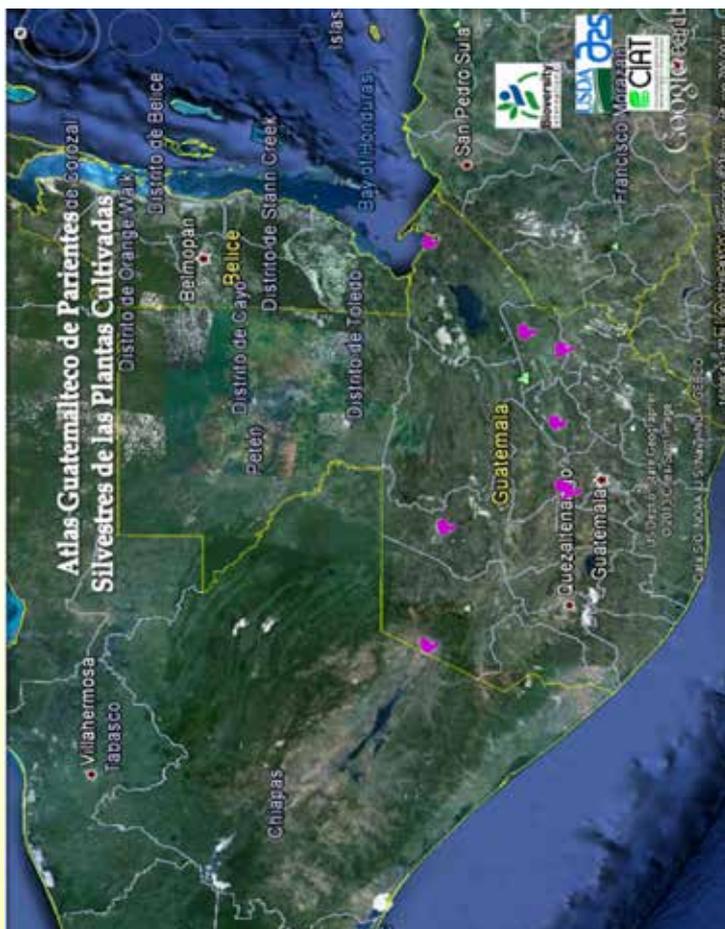
La especie *M. aesculifolia* es de amplia distribución en México y Centroamérica, creciendo en formaciones de bosque seco espinoso con vegetación dominada por Acacia, Cocoloba, Randia o bien en la orilla de sabanas con gramíneas y vegetación secundaria. En Guatemala se encuentra en formaciones de bosque muy seco y seco. Según Rogers y Appan (1973), *M. aesculifolia* es una de las especies silvestres más cercanamente emparentadas con la yuca domesticada, e indican que los fitomejoradores pueden encontrar en *M. aesculifolia* un material genético rico para diferentes propósitos. Jennings (1995) afirma que *M. aesculifolia* ofrece genes con resistencia a suelos calcáreos.



Crédito: Cesar Azurdia



Distribución de *Manihot aesculifolia*



Fuente: Azurdia et al. (2011)

DISTRIBUCIÓN DE MANIHOT RHOMBOIDEA

Manihot rhomboidea subsp. *microcarpa*: distribuida en un rango altitudinal de 300 a 2,000 msnm. Ecológicamente esta subespecie es muy similar a *M. rhomboidea* subsp. *rhomboidea*, pero la subsp. *rhomboidea* es simpátrica a través de todo el rango de la sección Foetidiae, mientras que la subsp. *microcarpa* es alopátrica y no traslapa el rango de ninguna especie de *Manihot* (Rogers y Appan, 1973).



Manihot rhomboidea subsp. *microcarpa*

Crédito: Luis Montes

Distribución de *M. rhomboidea subsp rhomboidea*



Fuente: Azurdia et al. (2011)

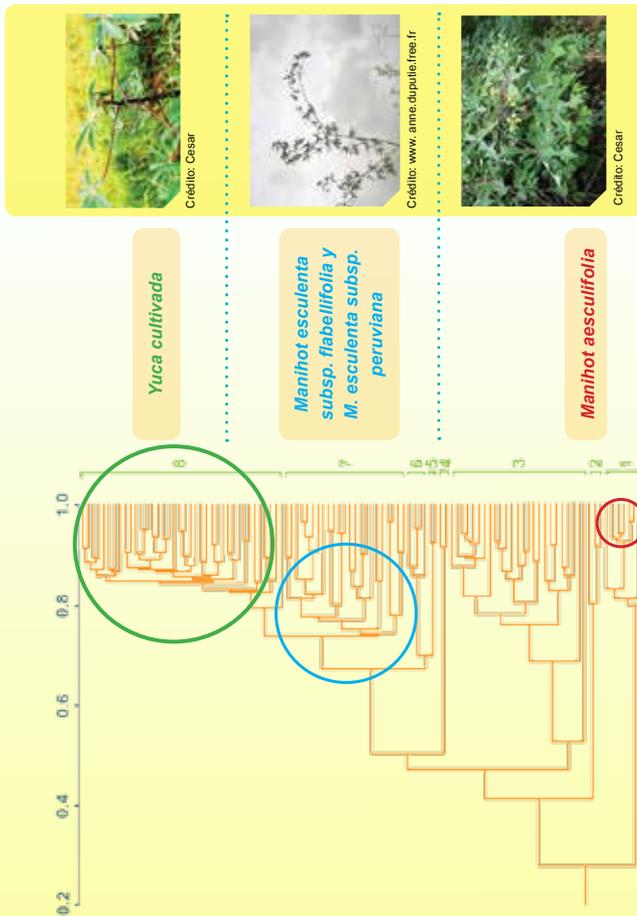
Distribución de *M. rhomboidea* subsp. *microcarpa*

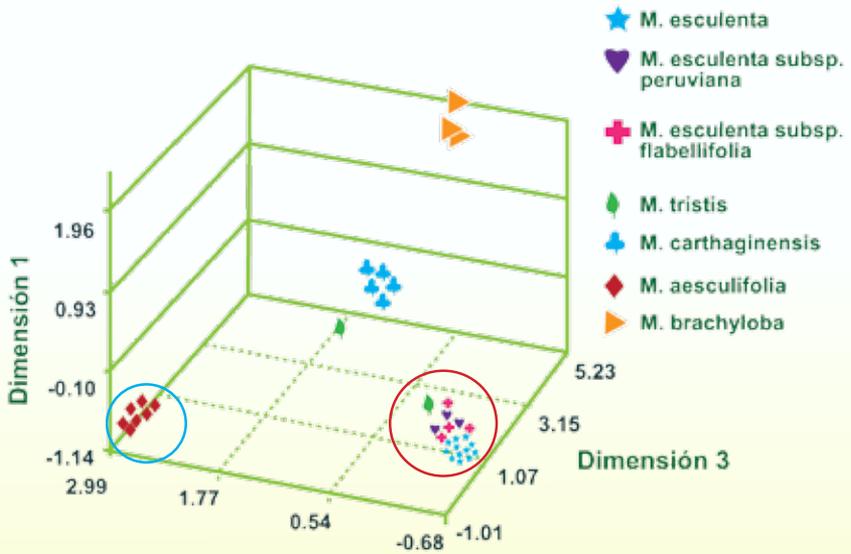


Fuente: Azurdia et al. (2011)

ORIGEN DE LA YUCA

Roger y Appan (1973) habían planteado que *Manihot aesculifolia* era la especie silvestre candidata a ser el antecesor silvestre de *M. esculenta*. Sin embargo, Roa *et al.* (1997) utilizando marcadores moleculares tipo AFLP mostraron que *M. aesculifolia* es la menos emparentada con la yuca cultivada y reporta a *M. esculenta* *subsp. flabellifolia* y *M. esculenta* *subsp. peruviana* (de origen brasileño) como las más emparentadas. Estos resultados fueron comprobados por Roa *et al.* (2000) utilizando marcadores moleculares tipo microsatélite.





Fuente: Roa *et al.* (1997)

DIVERSIDAD DE YUCA CULTIVADA EN GUATEMALA

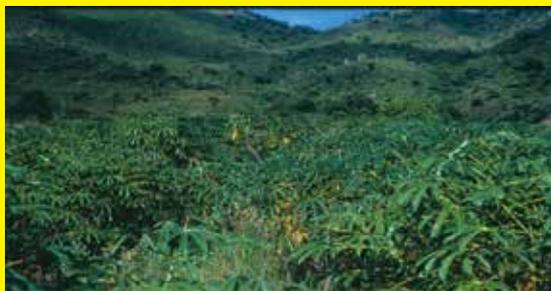
En Guatemala la yuca es un cultivo milenario, formando parte del sistema de agricultura tradicional. Es reconocido que en Guatemala existe una gran diversidad genética de *Manihot*, tanto entre las variedades cultivadas como entre las especies silvestres emparentadas. La diversidad genética de la yuca cultivada en Guatemala ha sido estudiada en detalle (Azurdia y González, 1986; Azurdia *et al.*, 1995), mostrando que existe una gran variabilidad morfológica, agronómica y nutricional.



Crédito: Cesar Azurdia

DIVERSIDAD DE YUCA CULTIVADA EN GUATEMALA

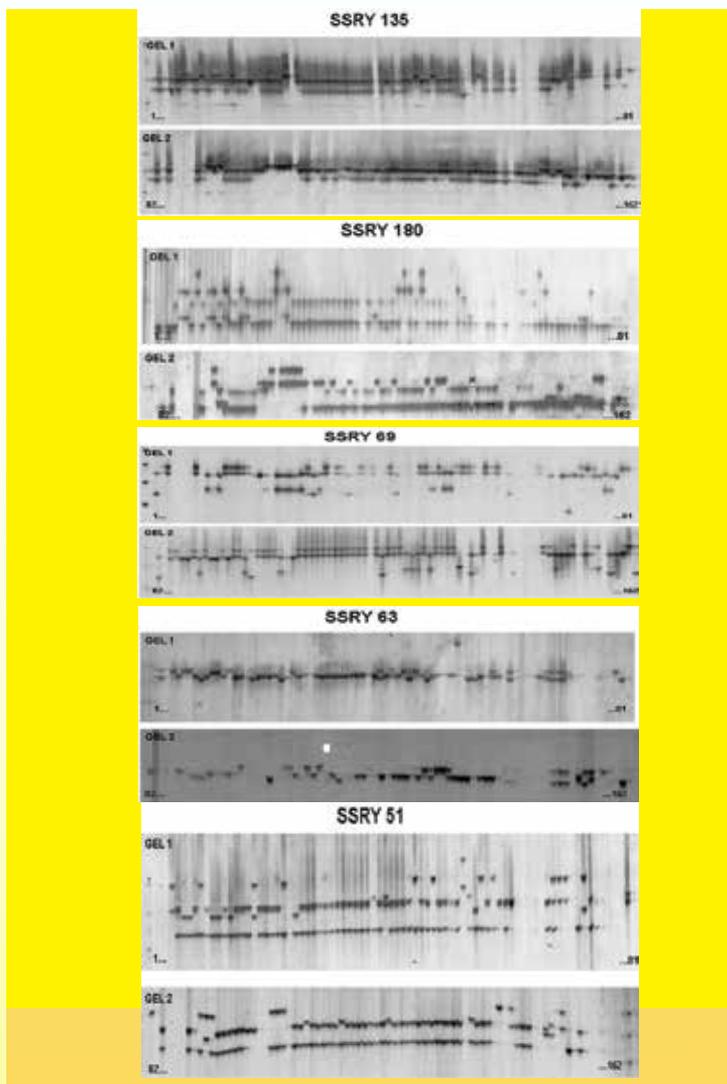
Estudios conducidos por la Unidad de Recursos Genéticos del CIAT utilizando marcadores bioquímicos (isoenzimas) detectaron variación en los diferentes alelos de la enzima esterasa (Debouck, comunicación personal). Esta información fue utilizada para hacer un análisis de diversidad genética y se pudo comprobar que el área del departamento de El Progreso es el lugar donde se concentra la mayor variación.



Crédito: Cesar Azurdia

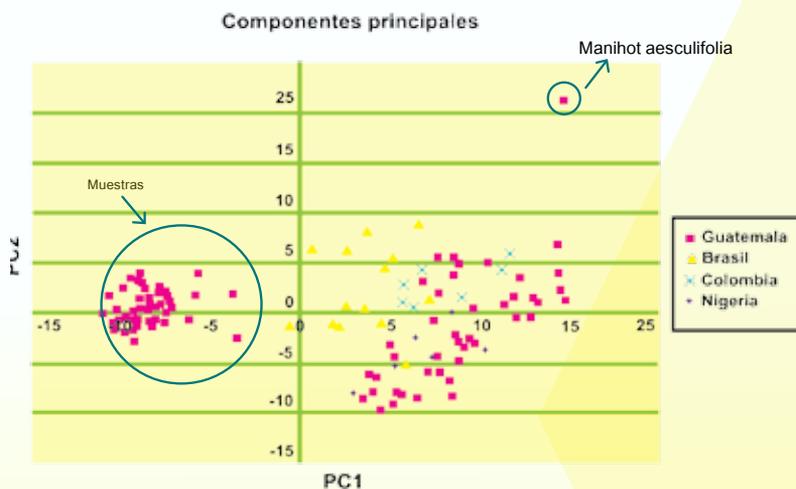
DIVERSIDAD MOLECULAR

Estudios más recientes (Azurdia *et al.*, 2002) utilizando marcadores moleculares del tipo microsátélites, han mostrado que Guatemala es un centro de diversidad donde se encuentran genes únicos a nivel mundial, por lo cual su conservación y uso es prioritario



Fuente: <http://isa.ciat.cgiar.org/molcas/estudios.jsp?code=4&pais=Guatemala>

DIFERENCIACIÓN GENÉTICA DE LA YUCA DE GUATEMALA Y OTRAS PARTES DE AMÉRICA LATINA Y ÁFRICA



Fuente: Azurdia *et al.* (2002)

Las accesiones de Guatemala forman dos grupos, uno asociado a materiales procedentes de Brasil, Nigeria y Colombia; el otro, se agrupa separadamente, es decir, representa variabilidad genética exclusiva de Guatemala.

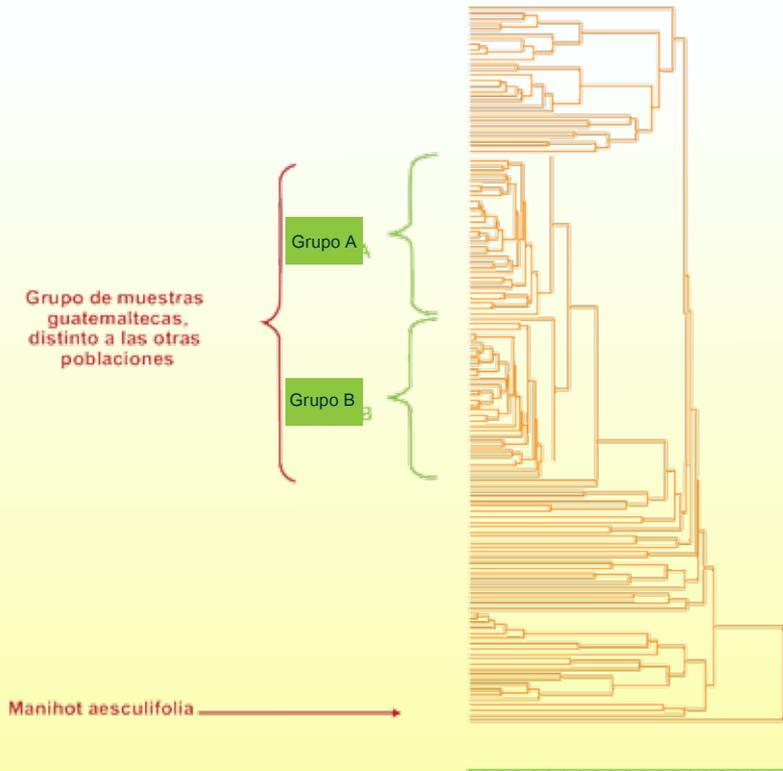
Estos resultados confirman observaciones previas referente a la gran diferenciación genética entre ciertos grupos de yuca de Guatemala y aquellos de otras partes de América Latina y África (Fregene *et al.* 2003)

ALTA DIFERENCIACIÓN

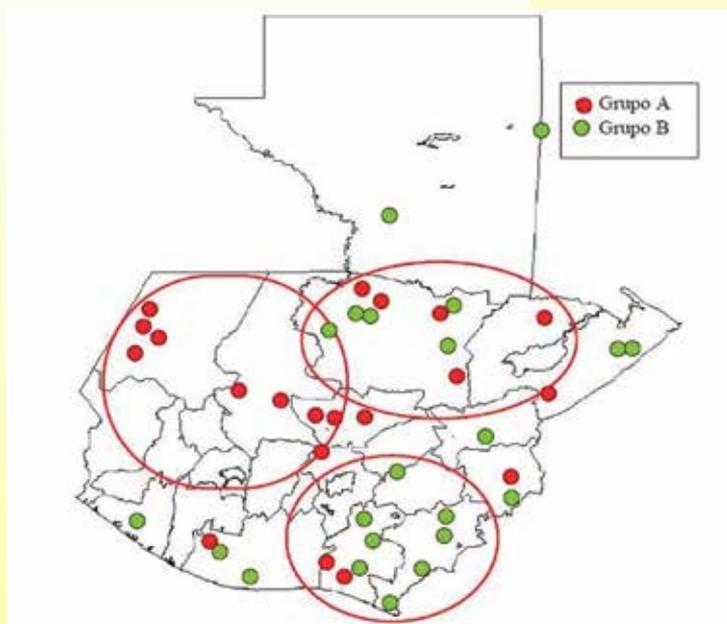
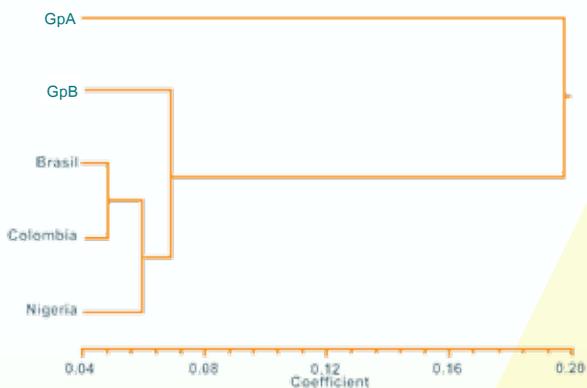
La alta diferenciación de los materiales genéticos de Guatemala puede representar pools heteróticos, similar al presente en Guatemala para el maíz.

El análisis de grupos reportó dos grupos de materiales guatemaltecos que se confirmó con el análisis de componentes principales.

El origen de la alta diversidad presente puede explicarse por eventos independientes de domesticación en poblaciones de las diferentes especies que todavía existen o que existieron o bien, a través de introgresión de especies de *Manihot* que sobreponen su distribución en yuca en ciertas regiones del país.

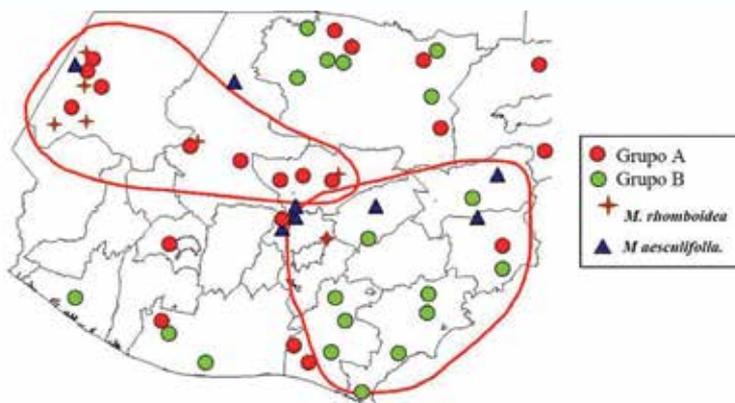


DIFERENCIACIÓN GENÉTICA ENTRE CIERTOS GRUPOS DE YUCA DE GUATEMALA Y AQUELLOS DE OTRAS PARTES DE AMÉRICA LATINA Y ÁFRICA

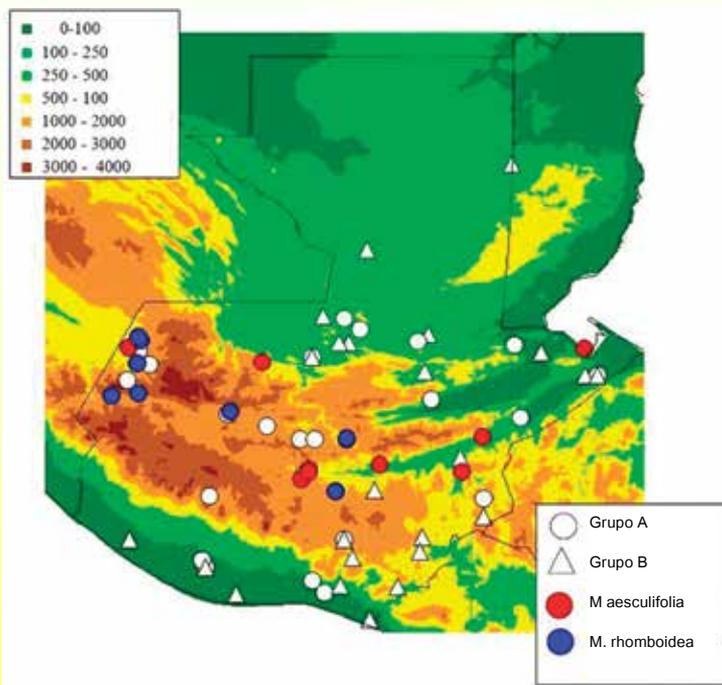


En la figura se observa la distribución de los grupos reportados en las figuras anteriores.

RELACIÓN ENTRE GRUPOS IDENTIFICADOS Y PARIENTES SILVESTRES



En la figura se observa la relación entre los grupos formados y las especies silvestres presentes en Guatemala.



DIVERSIDAD FENOTÍPICA

Los estudios conducidos por Azurdia *et al.* (1995) indican la alta variabilidad morfológica, agronómica y nutricional que el germoplasma de origen guatemalteco presenta. Esto es una confirmación adicional de que Guatemala es un centro secundario de diversidad de yuca.



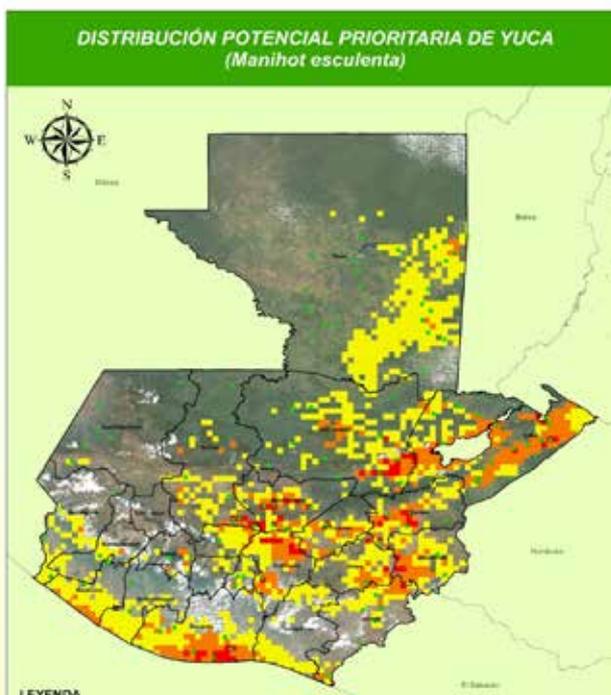
Crédito: César Azurdia

DIVERSIDAD FENOTÍPICA



DISTRIBUCIÓN DE YUCA CULTIVADA EN GUATEMALA

En Guatemala se cultiva la yuca principalmente en clima cálido húmedo o cálido seco, aunque algunas veces se puede encontrar en regiones con clima templado. El mapa muestra la distribución general de la yuca cultivada, así mismo los dos mapas adicionales muestran la distribución de dos tipos de yuca morfológicamente bien diferenciados (la yuca papa y la yuca ceiba).



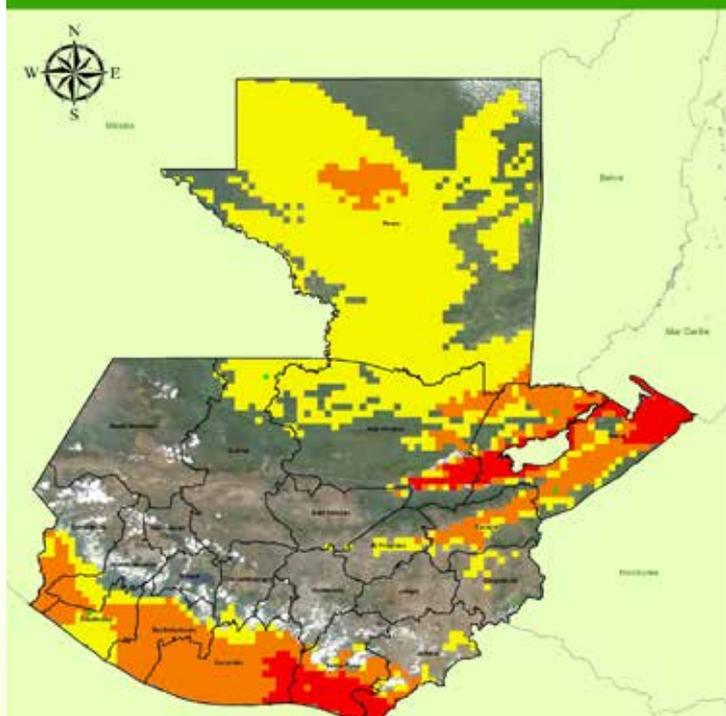
LEYENDA

● Puntos de Presencia de la Especie

Distribución de las Probabilidades de Presencia de la Especie

■	0.500020981 - 0.647555987
■	0.647555987 - 0.795090993
■	0.795090993 - 0.942626

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PRIORITARIA DE YUCA CEIBA (*Manihot esculenta*)



LEYENDA

● Puntos de Presencia de la Especie

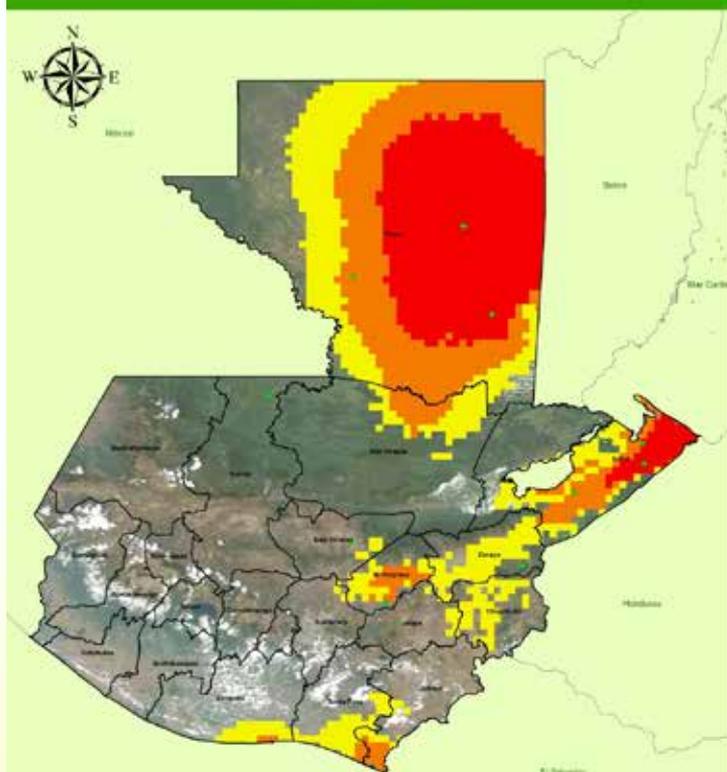
Distribución de las Probabilidades de Presencia de la Especie

0.504275024 - 0.574381014

0.574381014 - 0.644487004

0.644487004 - 0.714592993

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PRIORITARIA DE YUCA PAPA (*Manihot esculenta*)



LEYENDA

● Puntos de Presencia de la Especie

Distribución de las Probabilidades de Presencia de la Especie

0.500060976 - 0.564154983

0.564154983 - 0.62824899

0.62824899 - 0.692342997

INFORMACIÓN BIOLÓGICA

Floración

Es una especie monoica, con flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia. Las basales (femeninas) se abren primero y una a dos semanas después se abren las terminales (masculinas). Sin embargo, la autopolinización se puede dar ya que masculinas y femeninas de diferentes inflorescencias abren al mismo tiempo. El estigma permanece receptivo por cerca de un día y la fertilización ocurre entre 8 y 19 horas después de la polinización.



Crédito: www.chalk.richmont.edu



Crédito: www.farm4.static.flickr.com



Crédito: www.farm4.static.flickr.com



Crédito: www.wikipedia.org

DISPERSIÓN Y LONGEVIDAD DEL POLEN

Es polinizada por insectos, principalmente por Meliponas (*Melipona*, *Paratrigona* y *Trigona*) y abejas (*Apis mellifera*), y en menor grado por escarabajos carpinteros (*Xylocopa*), bumblebees (*Bombus*) y otras especies nativas de abejas y avispas. Se reporta que el polen permanece viable de dos a seis días, sin embargo, la viabilidad declina rápidamente después de su liberación, y los mejoradores usualmente desarrollan la polinización en un periodo no mayor a una hora después de colectarse el polen. De esta manera aseguran la fertilización.



Bombus

Crédito: chevlotchallenge.org.uj



Apis mellifera

Crédito: www.naturephoto-cz.com



Melipona

Crédito: www.farm3.static.flickr.com

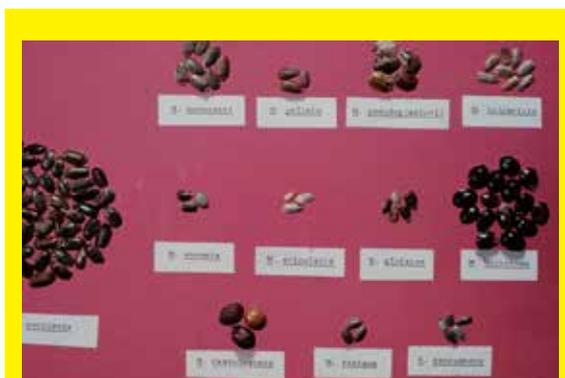


Paratrigona

Crédito: John Ascher

REPRODUCCIÓN SEXUAL

La yuca es diploide ($2n= 36$), perenne, predominantemente alógama, con tasas de cruzamiento que van de 60 a 100%, pero se reportan bajos niveles de autopolinización. Las tasas de cruzamiento pueden variar dependiendo la estructura espacial que guarden en las plantaciones. Algunas especies silvestres y cultivares híbridos han mostrado bajos niveles de apomixis (formación de semillas asexualmente)



Crédito: croptgenebank.sgrp.cgiar.org



Crédito: www.Cassava_seeds croptgenebank.sgrp.cgiar.org

REPRODUCCIÓN ASEXUAL

La yuca cultivada tradicionalmente se propaga de forma asexual a través de estacas, algunas veces se utiliza la semilla botánica. Todas las especies silvestres se propagan por semilla.



DORMANCIA Y DISPERSIÓN DE LAS SEMILLAS

Las semillas se dispersan a partir de cápsulas dehiscentes y a menudo también por hormigas atraídas por un alimento consistente en un cuerpo de aceite presente en la semilla. Además, las semillas pueden dispersarse a través de aves. Las semillas pueden permanecer en el suelo pero su viabilidad comienza a declinar después de seis meses.

PLANTAS VOLUNTARIAS, RUDERALES Y SU PERSISTENCIA

Después del proceso de roza, tumba y quema aparecen numerosas plantas voluntarias como resultado de semillas enterradas. Además, plantas ruderales pueden observarse en las orillas de las áreas cultivadas. Las plantas de yuca voluntarias no sobreviven bien en campos abandonados, no compiten bien con especies de otros estados sucesionales y normalmente desaparecen después de pocas generaciones.

CAPACIDAD INVASIVA Y MALEZA

La yuca y muchas de sus especies silvestres están adaptadas a vegetación abierta y hábitats moderadamente disturbados. Los parientes silvestres tienden a ser malezas pioneras y pueden tener algún potencial invasivo.



Crédito: César Azurdia



Crédito: César Azurdia

CAPACIDAD DE CRUZAMIENTO

La yuca es una especie alógama que se reproduce asexualmente. Estudios de su sistema de cruzamiento indican que presenta una tasa de cruzamiento que va de 0.6 a 1.0, existiendo en algunos materiales un bajo porcentaje de autocruzamiento (Meireles da Silva, Bandel y Martins, 2003).

Actualmente se acepta que la yuca tiene un origen monofilético y que sus parientes silvestres más cercanos son *M. esculenta* subsp. *peruviana* y *M. esculenta* subsp. *flabellifolia*. Duputié *et al.* (2007) demostró por primera vez, basado en evidencia molecular, que la yuca domesticada se hibridiza en la naturaleza con su pariente silvestre más cercano en varias localidades de la Guayana Francesa; y que los híbridos (F1, F2, y posiblemente los productos de backcross con sus parientes silvestres) son fértiles.

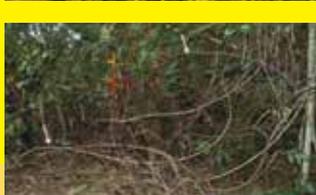


Distribución de M. esculenta subsp. flabellifolia

CAPACIDAD DE CRUZAMIENTO

Estudios conducidos en el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) en Colombia, mostraron que los cruces entre *M. esculenta* subsp. *flabellifolia* son exitosos, incluyendo también cruces recíprocos. Por el contrario, los cruces entre yuca y *M. aesculifolia* son poco exitosos, obteniéndose tan solo cinco semillas a partir de dos cruces.

Manihot aesculifolia actualmente se considera como parte del gene pool2 de la yuca silvestre, lo cual implica que su capacidad de cruzamiento con la yuca no es fácil y que posiblemente para obtener transferencia de genes se requiere participación del hombre. Por otro lado, *M. rhomboide* y sus dos subespecies están aún más distanciados genéticamente de la yuca cultivada.



Crédito: www.anne.duputie.free.fr

FLUJO GENÉTICO Y DISTANCIAS DE AISLAMIENTO

Debido al tamaño grande del polen de la yuca, este es principalmente diseminado por insectos y muy poco por el viento. Las abejas pueden jugar un papel importante ya que estas son capaces de acarrear el polen por varios kilómetros. Sin embargo, estudios llevados a cabo en Colombia indican que la mayor cantidad del movimiento de las abejas se dá en un radio de 10 metros. Por ello, se recomienda tener distancias de aislamiento de alrededor de 30 metros.



Crédito: Wikimedia comons

ESTADO DE DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA GM

- ▶ Se han desarrollado varios protocolos de transformación. El preferido es a través de *Agrobacterium*.
- ▶ Existen cerca de 12 programas mundiales de creación de yuca GM.
- ▶ Los primeros ensayos de campo bajo condiciones de invernadero se han conducido recientemente.
- ▶ No se han liberado variedades comerciales.
- ▶ Se está haciendo investigación en resistencia a insectos, resistencia a virus, resistencia a herbicidas, reducción en el contenido de cianogénicos, mejorar contenido de almidón, mejorar la calidad nutricional (proteína, micronutrientes), reducción en los daños después de la cosecha.



Yuca GM

Crédito: www.plantresearch-bath.org



Embriones modificados

Crédito: www.pb.ethz.ch



Callos que se convierten en nuevas plántulas transformados

Crédito: www.plbio.life.ku.dk

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

- ▶ Guatemala es un centro secundario de diversidad genética de yuca.
- ▶ Existe diversidad genética a nivel molecular que no se presenta en otras accesiones del resto del mundo.
- ▶ Existen dos especies silvestres de yuca, una de ellas, pertenece al gene pool 2 de la yuca cultivada, la cual en forma artificial se podría cruzar con yuca cultivada, pero su descendencia no es necesariamente fértil.
- ▶ Comercialmente la yuca se reproduce por medio asexual, pero en la naturaleza se puede reproducir por semilla. En el caso de las especies silvestres la reproducción es por semilla.
- ▶ La yuca cultivada es principalmente alógama, siendo los insectos los encargados de dispersar el polen.
- ▶ Experimentos realizados indican que el polen se mueve por acción de abejas no más de 10 metros, por lo cual se recomienda un aislamiento no mayor de 20 metros.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

- ▶ No se reportan materiales GM de yuca liberados a la fecha, sin embargo, a nivel de laboratorio ya hay materiales sometidos a experimentación.
- ▶ La yuca transformada tiene caracteres de mejora agronómica (resistencia a insectos, virus, herbicidas) y mejoramiento del contenido nutricional.
- ▶ El efecto de materiales de yuca GM si algún día se introducen en Guatemala, posiblemente no tengan mucho efecto negativo ya que la introgresión entre materiales cultivados y las especies silvestres de Guatemala no tienen alta probabilidad que suceda en la naturaleza.
- ▶ Se conoce la distribución potencial de las especies silvestres de yuca, por lo cual las áreas probables en las cuales podría haber coincidencia de poblaciones silvestres y las poblaciones a plantar se pueden identificar. Esto orientaría el análisis de riesgo.

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. y González, M. 1986. Informe final del proyecto de recolección de algunos cultivos nativos de Guatemala. FAUSAC, ICTA, CIRF.
- ▶ Azurdia, C., Gómez, J., García, A., Juárez, F., López, R., Zapeta, M. y Rosell, J. 1996. Yuca (*Manihot esculenta*). En: C. Azurdia (ed.). Caracterización de algunos cultivos nativos de Guatemala. FAUSAC, ICTA, IBPGR. p. 143-163.
- ▶ Azurdia, C., Montes, L., Debouck, D. and Fregene, M. 2002. Simple sequence repeat (SSR) marker assessment of genetic diversity of cassava land races from Guatemala. En: CIAT (ed.): Annual report of Project IP3: improving cassava for the developing world. p. 17-20.
- ▶ Duputié, A., David, P., Debain, C. and KckKey, D. 2007. Natural hybridization between a clonally propagated crop, cassava (*Manihot esculenta* Crantz), and a wild relative in French Guiana. *Mol. Ecol.*
- ▶ Fregene, M., Suarez, M., Mkumbira, J., Ndedya, E., Kulaya, A., Mitchel, S., Guilberg, U., Rosling, H., Dixo, A.G., Dean, R., and Kresovich, S. 2003. Simple sequence repeat marker diversity in cassava landraces: genetic diversity and differentiation in a asexually propagated crop. *Theor Appl Genet* (6) 1083-93.

BIBLIOGRAFÍA

- ▶ Hershey, C. 2010. A global conservation strategy for cassava and wild *Manihot* species. Global Crop Diversity Trust. Rome, Italy.
- ▶ Jennings, D. L. 1995. Cassava - *Manihot esculenta* (Euphorbiaceae). En: J. Smartt y N.W. Simmonds (eds.). Evolution of crop plants. Longman Scientific & Technical. p. 128-132.
- ▶ Meireles da Silva, R, Bandel, G., and Martin, P.S. 2003. Mating systems in an experimental garden composed of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) etnovarieties. *Euphytica* 127-135.
- ▶ Roa, A.C., Maya, M.M., Duque, M.C., Tohme, J., Allem, A.C. and Bonierbale, M.W. 1997. AFLP analysis of relationship among cassava and other *Manihot* species. *Theor Appl Genet*(95)_ 741-750.
- ▶ Roa, A.C., Chavarriaga-Aguirre, P., Duque, M.C., Maya, M.M., Bonierbale, M.W., Iglesias, C., and Tohme, J. 2000. Cross-species amplification of cassava (*Manihot esculenta*) (Euphorbiaceae) microsatellites: allelic polymorphism and degree of relationship. *American Journal of Botany* 87(11): 1647-1655.
- ▶ Rogers, D.J y S.G. Appan. 1973. *Flora Neotropica*. Monograph No. 13. *Manihot-Manihotoides* (Euphorbiaceae). Hafner Press, New York.