Gobierno de Guatemala
Consejo Nacional de Áreas Protegidas

CONAP

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

Arroz (*Oryza sativa*)

UNEP

gef

Documento técnico No. 4-2014

CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS 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. Arroz (*Oryza sativa*). Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Documento Técnico No. 4-2014. 31 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. Manuel Benedicto Lucas López
Secretario Ejecutivo
Consejo Nacional de Áreas Protegidas
-CONAP-

5 Ave. 6-06 Zona 1 Edificio IPM, PBX. (502) 2422-6700 Fax. (502) 2422-6711 www.conap.gob.gt

Índice

- Presentación General 10
- Introducción 12
- Especies silvestres 13
  - Oryza latifolia 14
  - Oryza alta 16
  - Oryza rufipogon 18
  - Oryza glumaepatula 20
- Biología 22
  - Floración 22
  - Coincidencia en floración 23
  - Dispersión y longevidad del polen 23
  - Reproducción sexual y asexual 23
  - Dispersión y dormancia de la semilla 23
  - Plantas voluntarias, ruderales y persistencia 24
  - Hibridación 25
  - Flujo genético 26
  - Distancia de aislamiento 27
- Desarrollo de la Tecnología GM 28
- Conclusiones y Reflexiones 30
- Bibliografía 31

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

Existen dos especies de arroz cultivadas a nivel mundial, el llamado arroz asiático (*Oryza sativa*) y el africano (*O. glaberrima*), este último cultivado solo en África, siendo actualmente desplazado por el de origen asiático.

El origen y domesticación del arroz asiático se cree que fue en la región del valle del rio Yangtze en China. Su centro primario de diversidad es Indonesia, al igual que otras partes del sureste de Asia, incluyendo las islas principales. Centro secundario se consideran localidades en la India, oeste de Asia y Europa; recientemente se ha reportado la existencia de centros secundarios de diversidad en Europa y en América. (Anderson y de Vicente, 2010).

En América tropical se han reportado las siguientes especies: *O. sativa f. spontanea, O. rufipogon* (introducido, el supuesto ancestro silvestre del arroz), *O. glumaepatula, O. alta, O. grandiglumis y O. latifolia.* Para Mesoamérica solamente *O. grandiglumis* no ha sido reportada.

Guatemala es un país productor de arroz, sin embargo, el consumo nacional no se satisface con dicha producción, por lo cual se debe importar el faltante. La última estimación de la producción nacional de arroz es del período 2004/05, reportándose 771,617 quintales. Los departamentos más importantes en cuanto a producción de arroz son Izabal, Alta Verapaz, Jutiapa, San Marcos, Petén y Chiquimula. (http://portal2.maga.gob.gt/unr_normativas/pdfs).

La investigación en arroz genéticamente modificado ha avanzado en los últimos años, existiendo en la actualidad algunas áreas plantadas en el mundo con este tipo de variedades producto de la biotecnología moderna. Ensayos de campo se están desarrollando en diferentes países, incluyendo algunos de América Latina. Por esta razón es necesario conocer qué recursos genéticos de arroz silvestre existen en Guatemala, así como la biología del arroz cultivado, de tal manera de contar con una línea base que sirva para apoyar la toma de decisiones cuando se apruebe el uso de arroz GM en Guatemala.

ESPECIES SILVESTRES

Se reportan 25 especies silvestres en total, de las cuales algunas son propias de América. Para Mesoamérica se reportan seis especies, de las cuales solo *O. latifolia* tiene reportes de presencia en Guatemala. Sin embargo, los datos de presencia de las otras especies en regiones aledañas a Guatemala supone su presencia en el país.

Créditos: Mario Véliz

Créditos: Mario Véliz

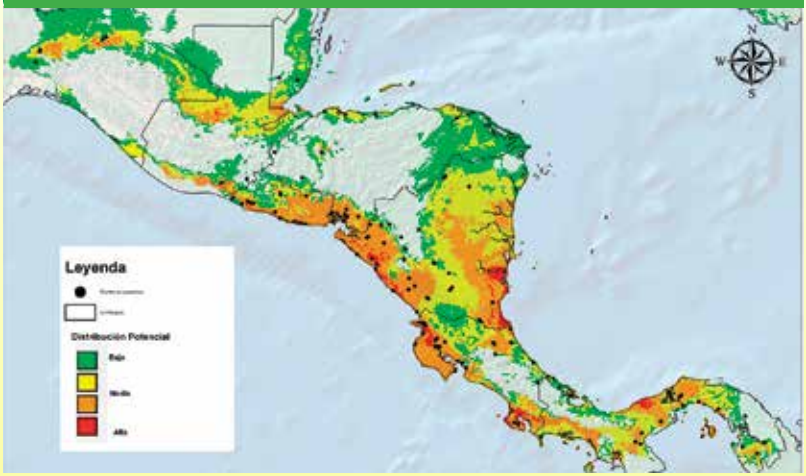
Oryza latifolia

Se ha reportado su presencia en las partes bajas de Jutiapa y Santa Rosa (Tropicos.org) así como en el departamento de Izabal. El mapa de distribución potencial indica que se puede encontrar en la costa sur, así como en el norte de los departamentos de Alta Verapaz, Izabal y Petén. Es frecuente en pantanos, ciénegas, potreros. Forma parte del gene pool secundario del arroz, tetraploide (2n= 48x) y tiene genoma CCDD (Anderson y de Vicente, 2010).

Créditos: Mario Véliz

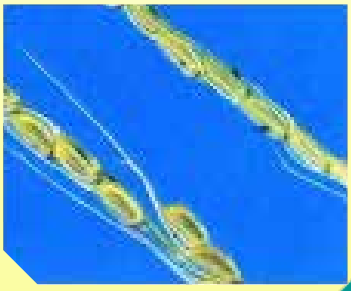
Fuente: www.tropicos.org

Distribución Potencial de Oryza latifolia (arroz silvestre)



Distribución y habitat de O. latifolia. Fuente: Vaughan (1994)

Patricia (IRCC Acc. 100955)



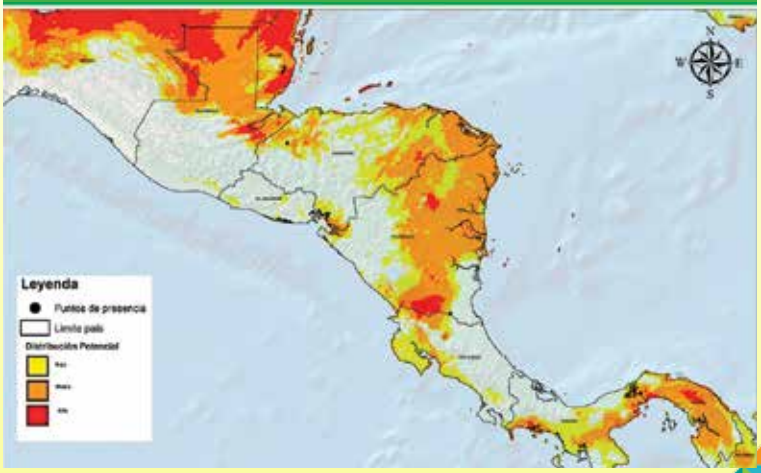
Oryza alta

Se encuentra reportado para Belice, Honduras, México (estados de Campeche y Tabasco), así como para Nicaragua (Río San Juán). Es frecuente en pantanos y orillas de ríos. Especie tetraploide (2n= 48), genoma CCDD, muy relacionada con *O. latifolia*, y forma parte del gene pool secundario del arroz.

Créditos: www.knowledgebank.irri.orgextensionoryza-alta-swallen.html

Crédito: Mario Véliz

Distribución Potencial de Oryza alta (arroz silvestre)

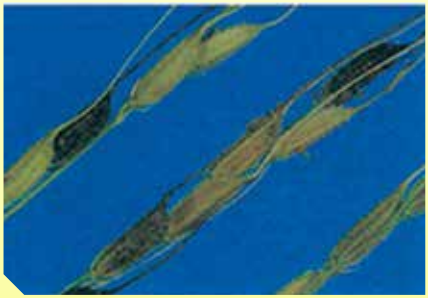


Distribución de Oryza alta

Fuente: Vaughan (1994)

Río Solimoes, Calderao, Brazil

Crédito: Dr. Elaine Novick



Espiguillas

Oryza rufipogon

Especie silvestre introducida a América tropical, se ha reportado en Belice, México (Oaxaca), Honduras y Costa Rica. Se cree que es el ancestro silvestre de *Oryza sativa*, por lo cual forma parte del gene pool primario y con genoma AA (similar al del arroz), diploide (2n=24). Aparentemente es una planta de reciente introducción en Mesoamérica, lo cual puede explicar su distribución limitada.

Créditos: Mario Veliz

Créditos: Mario Veliz

Distribución Potencial de Oryza rufipogon (arroz silvestre)

Distribución y habitat de O. rufipogon

Fuente: Vaughan (1994)

Bhoothathakettu, Kerala, India
Crédito: Dr. Elaine Novick

Lago Murray, Provincia del este, Papua Nueva Guinea

Panicle

Oryza glumaepatula

Especie reportada en América del Sur y en Costa Rica, Honduras, México y Panamá. Se encuentra en ciénegas, a la orilla de ríos, diques abiertos y cerca de campos cultivados, usualmente en lugares con agua profunda. Crece en hábitats abiertos. Es del gene pool primario del arroz, con genoma AA (http://www.knowledgebank.irri.org/extension). Su genoma es similar a todas aquellas que forman parte de gene pool uno del arroz cultivado (Lu *et al*., 1998)

Créditos:
www.knowledgebank.irri.orgextensionoryza-rufipogon-griff.html

Créditos:
www.knowledgebank.irri.orgextensionoryza-glumaepatula-steud.html

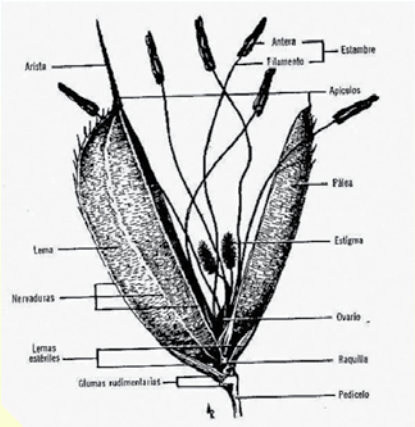
Distribución de *Oryza glumaepatula*

Créditos: www.gene.affrc.go.jp

Créditos: www.knowledgebank.irri.orgextensionoryza-glumaepatula-steud.html

Floración

En la mayoría de variedades de arroz cultivadas los estigmas y los estambres son cortos, parcialmente exertos, protegidos del proceso de cruzamiento permaneciendo dentro de sus hojas protectoras (lemna y palea). Las inflorescencias permanecen hasta una semana, hasta que la última flor se haya abierto. Las flores abren entre 9 am y 2 pm, permaneciendo abiertas entre 6 minutos hasta 2.5 horas. Las anteras liberan el polen antes de que estas salgan de las flores y no más de diez minutos después de que la flor se abre. La fertilización se realiza en un periodo no mayor a seis horas. Las especies silvestres tienen estigmas y estambres más largos, lo que puede originar tasas de cruzamiento ligeramente más altas (Anderson y de Vicente, 2010).



Flor arroz
www.pregonagropecuario.com

Floración arroz
www.pregonagropecuario.com

Coincidencia en floración

La floración de las variedades de arroz cultivado varía dependiendo de la variedad, localidad y estación; las hay sensibles e insensibles al fotoperiodo. Similarmente, el tiempo de floración varía entre las diferentes especies silvestres, así como entre poblaciones de cada especie.

Dispersión y longevidad del polen

Las variedades domesticadas son principalmente polinizadas por el viento, aunque existen variedades con flores aromáticas que atraen abejas. El polen tiene vida corta y pierde viabilidad rápidamente. En el caso de especies silvestres, el polen permanece viable ligeramente mas tiempo (hasta 10 minutos), Anderson y de Vicente (2010).

Reproducción sexual y asexual

Las variedades cultivadas se reproducen por semilla, sin embargo, bajo ciertas condiciones pueden tener capacidad de reproducción asexual (rizomas, estolones). Por su parte, las especies silvestres se reproducen por semilla pero todas las especies perennes tienen la capacidad de reproducción asexual, lo cual les da la alta capacidad de dispersión (Anderson y de Vicente, 2010).

Dispersión y longevidad de la semilla

Las variedades cultivadas casi han perdido su capacidad de dehiscencia, mientras que las silvestres dispersan sus semillas libremente al madurar. Las semillas producto de la dispersión pueden quedar enterradas en el suelo o bien dispersarse por acción del agua o por animales como roedores, hormigas, aves o por el hombre. Las semillas de variedades cultivadas tienen un período corto de dormancia (pocos días después de la maduración) mientras que las de especies silvestres y de híbridos naturales de especies silvestres y cultivadas, pueden permanecer viables en el suelo hasta 10 años. (Anderson y de Vicente, 2010).

PLANTAS VOLUNTARIAS, RUDERALES Y PERSISTENCIA

Las plantas voluntarias (aparecen en el campo después de la cosecha) de variedades domesticadas se pueden establecer fácilmente si existen las condiciones adecuadas de temperatura y humedad. Bajo condiciones de cultivo normalmente estas son eliminadas debido a quema o destrucción por efectos de prácticas agrícolas (roturación del suelo, uso de herbicidas, rotación). Las poblaciones ruderales de arroz cultivado pueden convertirse en poblaciones naturales. Las poblaciones tipo maleza de arroz son más agresivas y competitivas, a tal grado que pueden persistir hasta 150 años como ha sido reportado en Estados Unidos (Anderson y de Vicente, 2010).

Créditos: Wikimedia Commons

HIBRIDACIÓN

Especie	Gene pool	Genoma	Capacidad de cruzamiento con arroz cultivado
Oryza sativa f.	Primario	AA	Comletamente compatible. Es el conocido como arroz rojo, tipo maleza.
Oryza rufipogon	Primario	AA	Aislamiento reproductivo bajo, se han encontrado poblaciones híbridas fértiles y con presencia de introgresión genética.
Oryza glumaepatula	Primario	AA	Reproductivamente aislada de O. sativa, los híbridos F1 obtenido bajo condiciones artificiales son estériles.
Oryza alta	Secundario	CCDD	Posibilidades de cruzamiento son bajas. Híbridos con esterilidad masculina y algunas veces con esterilidad femenina. Se han obtenido algunos resultados positivos solamente utilizando métodos artificiales (rescate de embriones y cultivo de ovarios)
Oryza latifolia	Secundario	CCDD	Similar a O. alta. Existe un reporte en Costa Rica de híbrido natural entre O. glumaepatula y O. latifolia, pero completamente estéril.

FLUJO GENÉTICO

El flujo genético depende de varios factores, por ejemplo, tasa de cruzamiento, variaciones en tiempo de floración, tamaño de la población, distancia entre poblaciones, velocidad y dirección del viento, y humedad. La tasa de cruzamiento en arroz cultivado tipo asiático normalmente es menor a 1%. Resultados similares se han encontrado cuando existen poblaciones cultivadas y silvestres, siendo preferencial el flujo en la dirección arroz cultivado (como masculino) a tipo maleza o silvestre (como femenino). Estudios de campo en Costa Rica mostraron que en forma natural se puede dar una tasa de cruzamiento de 0.001 a 0.0004% de arroz cultivado (convencional o transgénico) a poblaciones de arroz silvestre (*O. glumaepatula*), Lentini *et al*. (2006).

Estudios de biología reproductiva de *O. glumaepatula* sugieren que esta especie es predominantemente autógama (Pereira *et al*. 2005), pero puede presentar cruzamiento facultativo, por lo que puede ser un receptor potencial de flujo genético a partir de arroz cultivado (Lentini y Espinoza, 2005). Estudios conducidos en Costa Rica utilizando marcadores moleculares han mostrado que *O. glumaepatula* puede tener hasta una tasa de 35% de cruzamiento (Lentini *et al*. 2006).

Crédito: Wikimedia Commons

DISTANCIAS DE AISLAMIENTO

En general se reporta que el polen no se mueve mas allá de 50 metros a partir de su fuente. Viajando en dirección del viento se ha reportado distancias no mayores a 250 metros. Otros experimentos midiendo flujo genético entre materiales cultivados y tipos silvestres han mostrado que a 50 metros de distancia la tasa de cruzamiento disminuye a 0.2% y a 75 metros baja hasta 0.06%. Cuando se quiere producir semilla la recomendación general es una separación máxima de 50 metros (Anderson y de Vicente, 2010).

Créditos: Wikimedia Commons

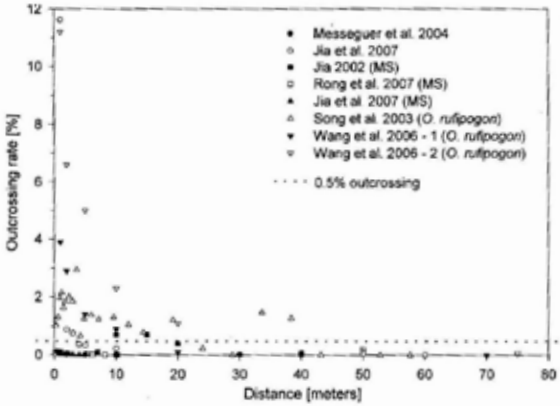


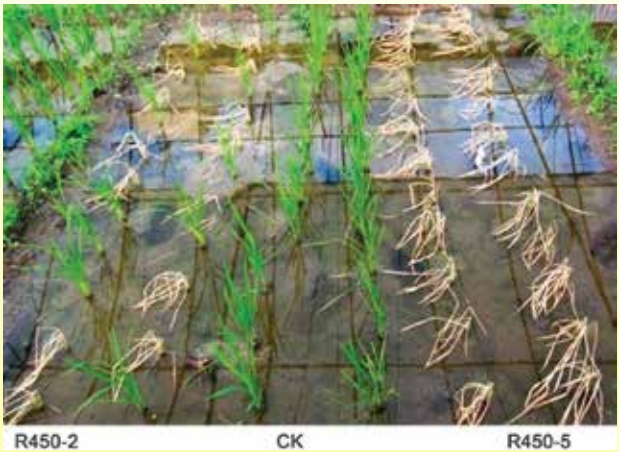
Fig. 18.1 Pollen dispersal distances and outcrossing rates of Asian cultivated rice (*Oryza sativa* L.) and from cultivated to wild rice (*O. rufipogon* Griff.) Wang et al. 2006–1: Guangzhou, Guangdong Province, China; Wang et al. 2006–2: Sanya, Hainan Province, China.

DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA GM

Se han desarrollado materiales GM con resistencia a herbicidas, resistencia a enfermedades e insectos, resistencia a estrés abiótico como salinidad, sequía, calor, frío, deficiencia en minerales; incremento en producción, biofortificación como incremento en proteína, almidón, hierro, zinc y beta caroteno (el conocido arroz dorado). Otras aplicaciones son mejora en calidad de aceite, proteínas para uso farmacéutico, y bioremediación de metales pesados. Solamente el 0.01% de la producción mundial de arroz es de origen GM; en Estados Unidos a partir de 1999 dos materiales resistentes a herbicidas han sido desregularizados, pero aun no se han comercializado.

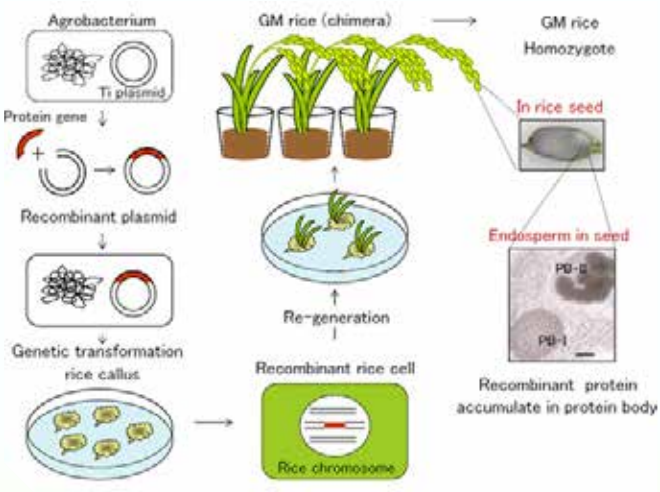
Ensayos de campo se están desarrollando en diferentes países como Argentina, Australia, Brasil, China, Colombia, Costa Rica, Francia, Indonesia, Italia, Japón, Corea, Pakistán, Filipinas, España y los Estados Unidos (Anderson y de Vicente, 2010)

En la Comunidad Económica Europea se han reportado 36 notificaciones de liberación de arroz GM.
(http://www.icgeb.org/~bsafesrv/databases/general.html).



Pruebas de campo
Créditos: www.images.sciencedaily.com

Cómo se hace un transgénico



Créditos: www.tokyofuturestyle.com

Arroz dorado
Créditos: www.agbioforum.org

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

- El arroz que se consume en Guatemala es principalmente importado, sin embargo, existen áreas considerables de producción.

- El centro de origen del arroz se encuentra en Asia, sin embargo en América Latina se reporta la presencia de especies silvestres.

- Seis especies silvestres se reportan para Mesoamérica, solamente *Oryza latifolia* se ha reportado para Guatemala. La posibilidad de presencia de las otras especies silvestres en Guatemala es alta.

- Las especies silvestres con genoma AA son propias del gene pool primario del arroz cultivado y tienen posibilidades de cruzarse con el arroz. Las especies del gene pool secundario están genéticamente más aisladas. En Mesoamérica hay especies de ambos gene pools.

- Se conocen las distancias de movimiento del polen, por lo cual se ha recomendado una separación entre parcelas de arroz de un máximo de 50 metros.

- La tecnología GM está bien desarrollada en la producción de arroz con diferentes caracteres (agronómicos, medicinales y ambientales), sin embargo, a nivel mundial todavía no se ha expandido la producción de arroz GM para consumo humano.

- Es necesario profundizar en la búsqueda de las especies silvestres de arroz posiblemente presentes en Guatemala, para establecer métodos de conservación *in situ* y ex situ.

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.

- Lentini, Z. and Espinoza, A.M. 2005. Coexistence of Weedy Rice and Rice in Tropical America: Gene Flow and Genetic Diversity. Chapter 19. p: 303-319. In: J. Gressel (Ed.). “Crop Ferality and Volunteerism: A Threat to Food Security in the Transgenic Era?”. CRC Press. Boca Raton, FL

- Lentini, Z., Debouck, D., Espinoza, A.M. and Araya, R. 2006. Gene flow analysis into wild/weedy relatives from crops with center origin/diversity in tropical America . International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms: biosafety research and environmental risk assessment, 9th Jeju Island Korea 24-29 September, 2006. p. 152-156.

- Lu, B., Naredo, M.E., Juliane, M.B., and Jackson, T. 1998. Taxonomic status of Oryza glumaepatula Steud III. Assessment of genomic affinity among AA genome species from the New World, Asia and Australia. Genetic Resources and Crop Evolution 45: 215-223

- Pereira, R., Zucchi, M.I., Brondani, C., Nakano, P.H., De Olveira, T.C., Nacimento, P., Magalháes, M.R. and Vencovsky, R. 2005. Genetic structure of wild rice Oryza glumaepatula populations in three Brazilian biomes using microsatellite markers. Genetica 125:115-123.

- Vaughan, D. A. 1994. The wild relatives of rice. A hand book. International Research Rice Institute. 137 p.