



TEMA 6. ESTUDIOS DE CASO

6.1. Presentación del caso de estudio 1

ÍNDICE

- Presentación del estudio de caso: siembra de maíz GM en México
- Identificación de metas de protección y puntos finales de evaluación, lista de posibles daños
- Formulación de hipótesis de riesgo
- Elaboración de escenarios de riesgo (rutas al daño)
- Identificación de la información necesaria para refutar hipótesis de riesgo
- Estimación de riesgos y consideración explícita de incertidumbres

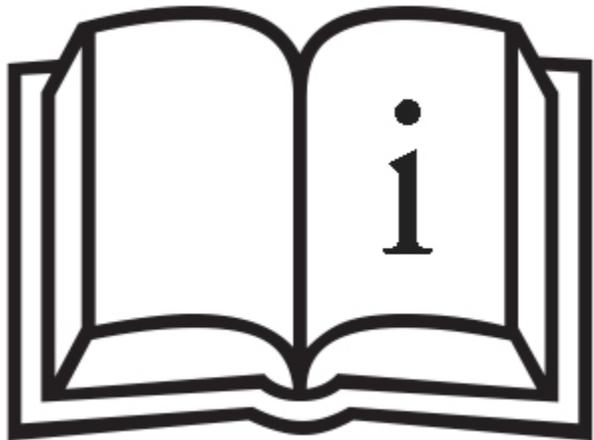


TEMA 6.1

Caso Hipotético de maíz Resistente a Insectos y Tolerante a Herbicida para México: presentación del caso de estudio

Nota aclaratoria: este es un caso hipotético con fines de capacitación

Ejercicio Práctico en plenaria



Las Autoridades Nacionales competentes requieren el apoyo de un grupo de expertos para llevar a cabo la evaluación de riesgos de la liberación al ambiente a nivel comercial de maíz genéticamente modificado resistente a coleópteros, lepidópteros y tolerante al herbicida glifosato.

Este órgano de asesoramiento de expertos es un órgano multidisciplinario cuyos integrantes un firmado una carta de que no tienen conflicto de interés y actuarán en su capacidad de expertos.

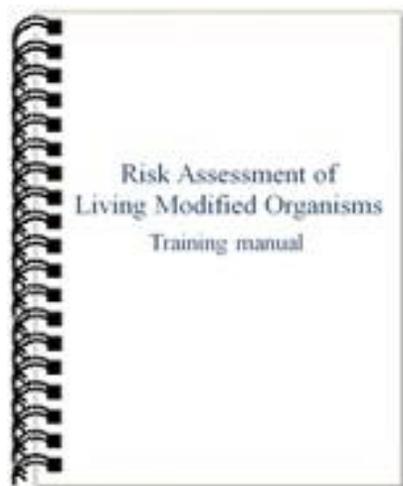


Grupo multidisciplinario

Funciones del Órgano de asesoramiento científico

Funciones

- ✓ **Revisar la información** proporcionada en el expediente del OVM y, en particular, la información en la evaluación del riesgo facilitada por el solicitante, lo que está disponible.
- ✓ **Identificar cualquier otra información científica** relevante sobre el asunto en cuestión, incluidas evaluaciones del riesgo previas o nueva información que haya surgido
- ✓ **Considerar las lagunas de información y las incertidumbres** científicas, así como posibles formas de abordarlas
- ✓ **Realizar la evaluación** del riesgo y elaborar un informe
- ✓ **Apoyar** acciones de manejo y comunicación de riesgos

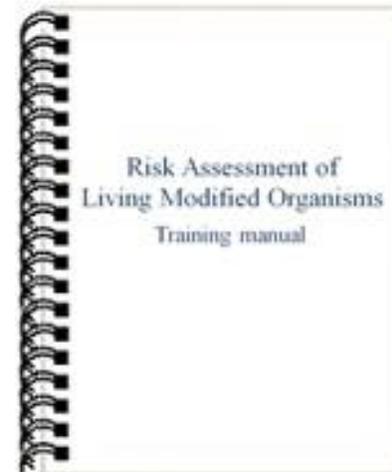




Contexto y alcance de la evaluación de riesgo



- ✓ **Conocer las normativas y obligaciones internacionales** del país Parte;
- ✓ **Directrices o marcos normativos nacionales** que la Parte ha adoptado;
- ✓ **Determinación de requerimientos metodológicos y analíticos;**
- ✓ **Metas de protección, así como puntos finales de evaluación, umbrales de riesgo y estrategias de gestión;**
- ✓ **Disponibilidad de información** sobre el organismo receptor, la modificación genética y el **probable medio receptor;**
- ✓ **Uso previsto del OVM y estatus legal,**
- ✓ **Información necesaria y de calidad para poner a prueba hipótesis de riesgos.**

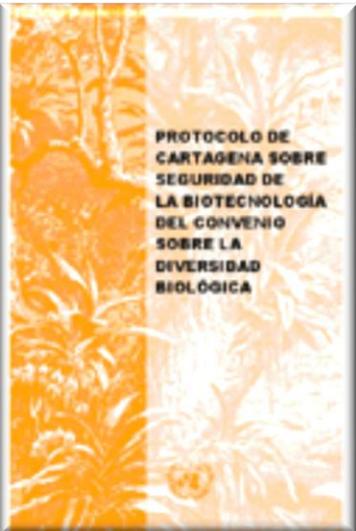




Conocer las normativas y obligaciones internacionales del país Parte

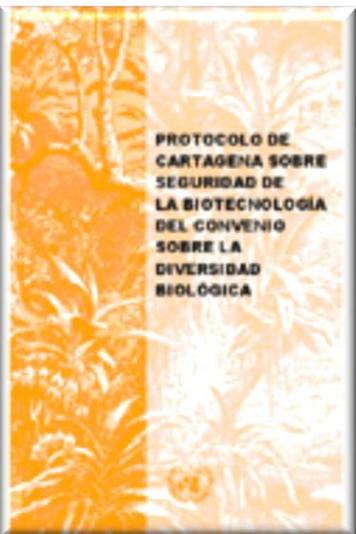


De conformidad con el enfoque de precaución que figura en el Principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, **el objetivo del presente Protocolo es contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección** en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras 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 también en cuenta los riesgos para la **salud humana**, y centrándose concretamente en los movimientos transfronterizos.





Conocer las normativas y obligaciones internacionales del país Parte

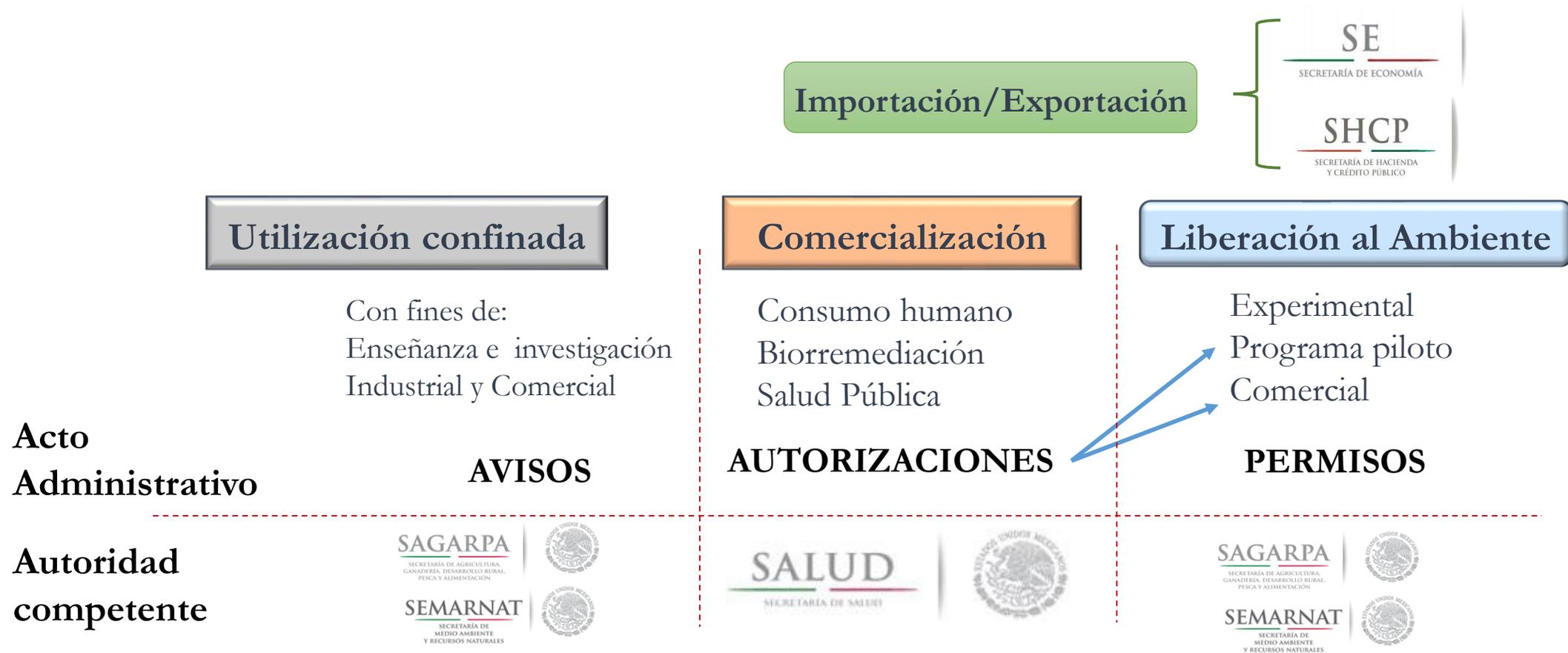


Las evaluaciones del riesgo que se realicen en virtud del presente Protocolo se llevarán a cabo con arreglo a **procedimientos científicos sólidos**, de conformidad con el anexo III y teniendo en cuenta las **técnicas reconocidas de evaluación del riesgo**. Esas evaluaciones del riesgo se basarán como mínimo en la información facilitada de conformidad con el artículo 8 y otras pruebas científicas disponibles para determinar y **evaluar los posibles efectos adversos de los organismos vivos modificados para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica**, teniendo también en cuenta los **riesgos para la salud humana**.

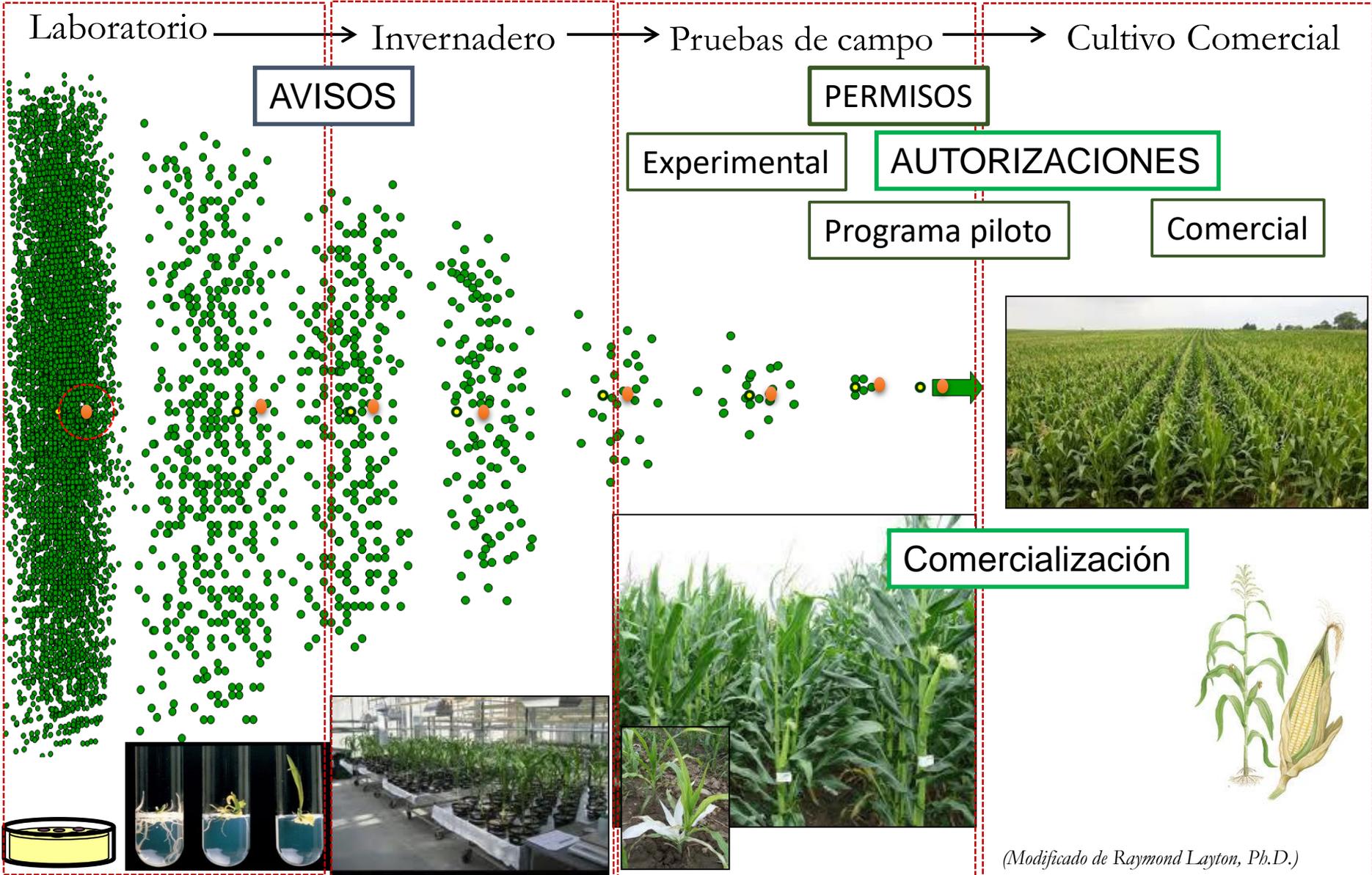
Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados

OBJETO:

Regular las **actividades** con OGMs para prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos a la salud humana, el medio ambiente y la biodiversidad, la sanidad animal, vegetal y acuícola



Producción de cultivos GM, actividades e instrumentos regulatorios



Autorizaciones para consumo humano

La comercialización de OVMs en Mexico, inicia en 1995 y a la fecha*, la Secretaría de Salud a través de la COFEPRIS, ha aprobado la comercialización para el consumo humano eventos de transformación o eventos apilados. 

Autorizaciones para consumo humano

La comercialización de OVMs en Mexico, inicia en 1995 y a la fecha*, la Secretaría de Salud a través de la COFEPRIS, ha aprobado la comercialización para el consumo humano **181** eventos de transformación o eventos apilados.

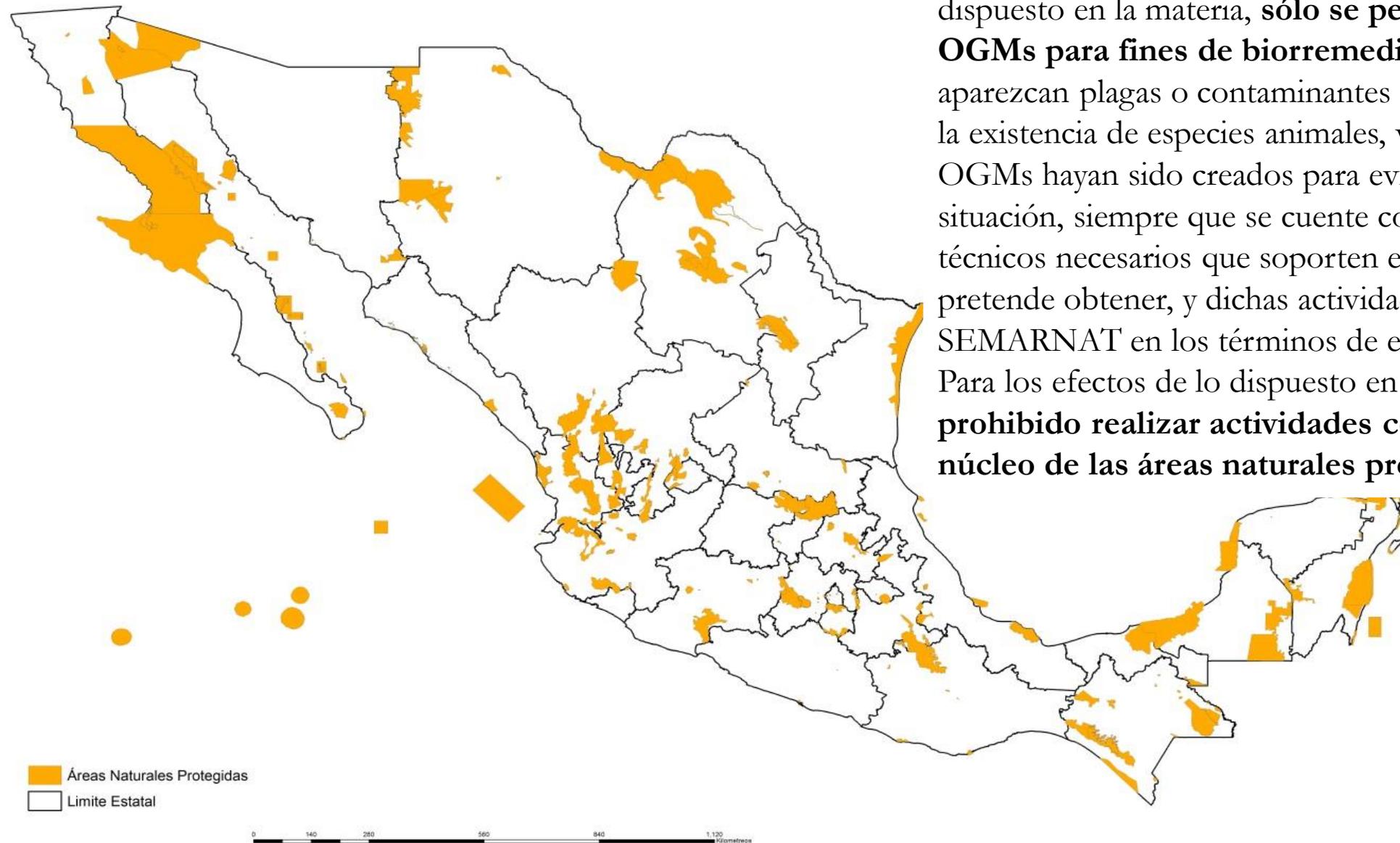
Cultivo	Eventos autorizados	Cultivo	Eventos autorizados
Jitomate	3	Maíz	90
Papa	6	Algodón	36
Alfalfa	4	Soya	28
Remolacha azucarera	1	Canola	10
Arroz	1	Limón	2

*06/2018



<http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/registro-nacional-bioseguridad-ogms>

Zonas restringidas: ANP, Centros de Origen y Zonas libres de OGMs.



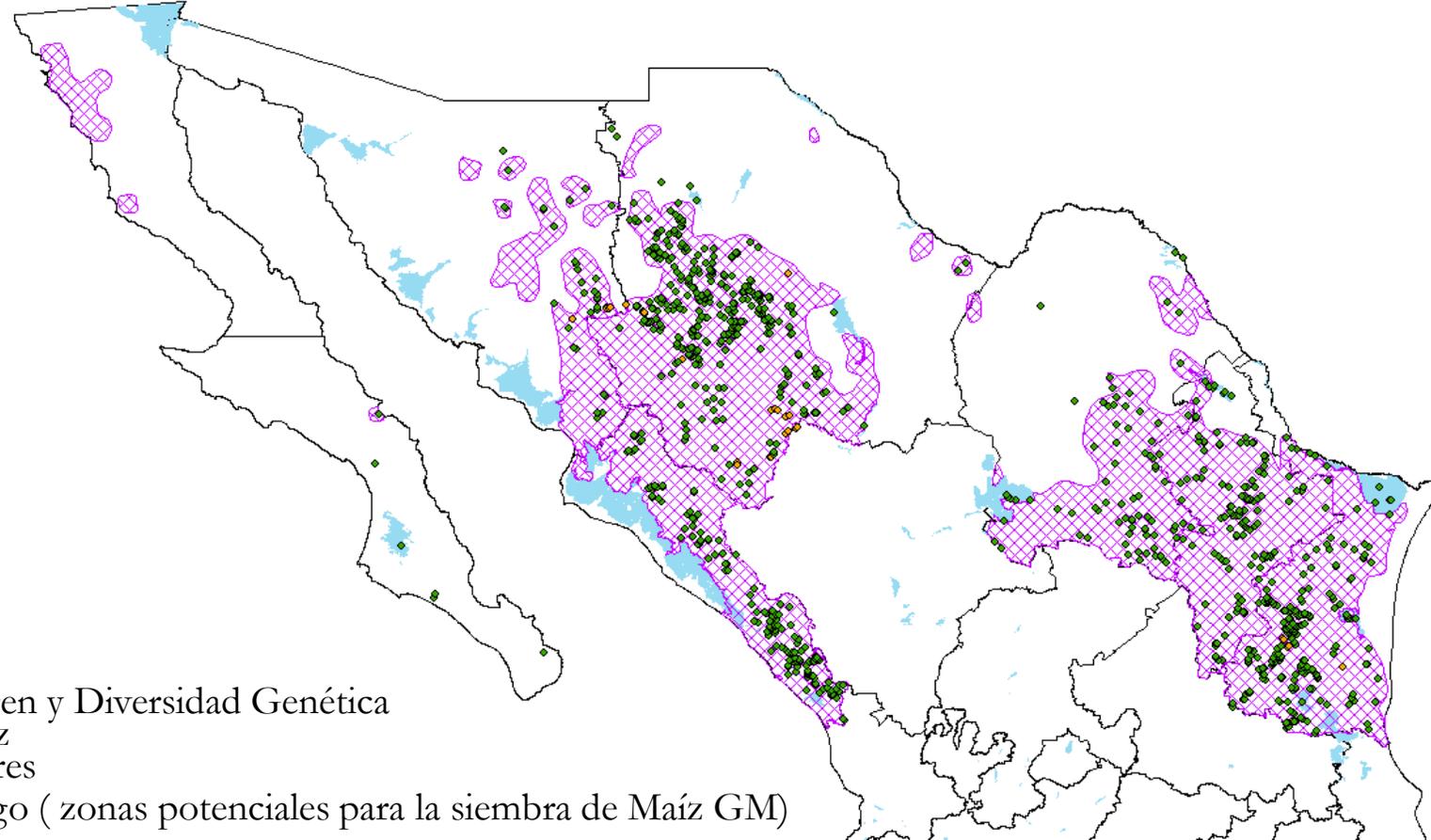
En las áreas naturales protegidas creadas de conformidad con lo dispuesto en la materia, **sólo se permitirán actividades con OGMs para fines de biorremediación**, en los casos en que aparezcan plagas o contaminantes que pudieran poner en peligro la existencia de especies animales, vegetales o acuícolas, y los OGMs hayan sido creados para evitar o combatir dicha situación, siempre que se cuente con los elementos científicos y técnicos necesarios que soporten el beneficio ambiental que se pretende obtener, y dichas actividades sean permitidas por la SEMARNAT en los términos de esta Ley.

Para los efectos de lo dispuesto en el párrafo anterior, **queda prohibido realizar actividades con OGMs en las zonas núcleo de las áreas naturales protegidas.**

Zonas centro de origen y de diversidad genética de maíz.

“Las especies de las que México sea centro de origen y de diversidad genética así como las áreas geográficas en las que se localicen, serán determinadas conjuntamente mediante **en esas zonas no se permitirá la liberación al ambiente de OGMs**”

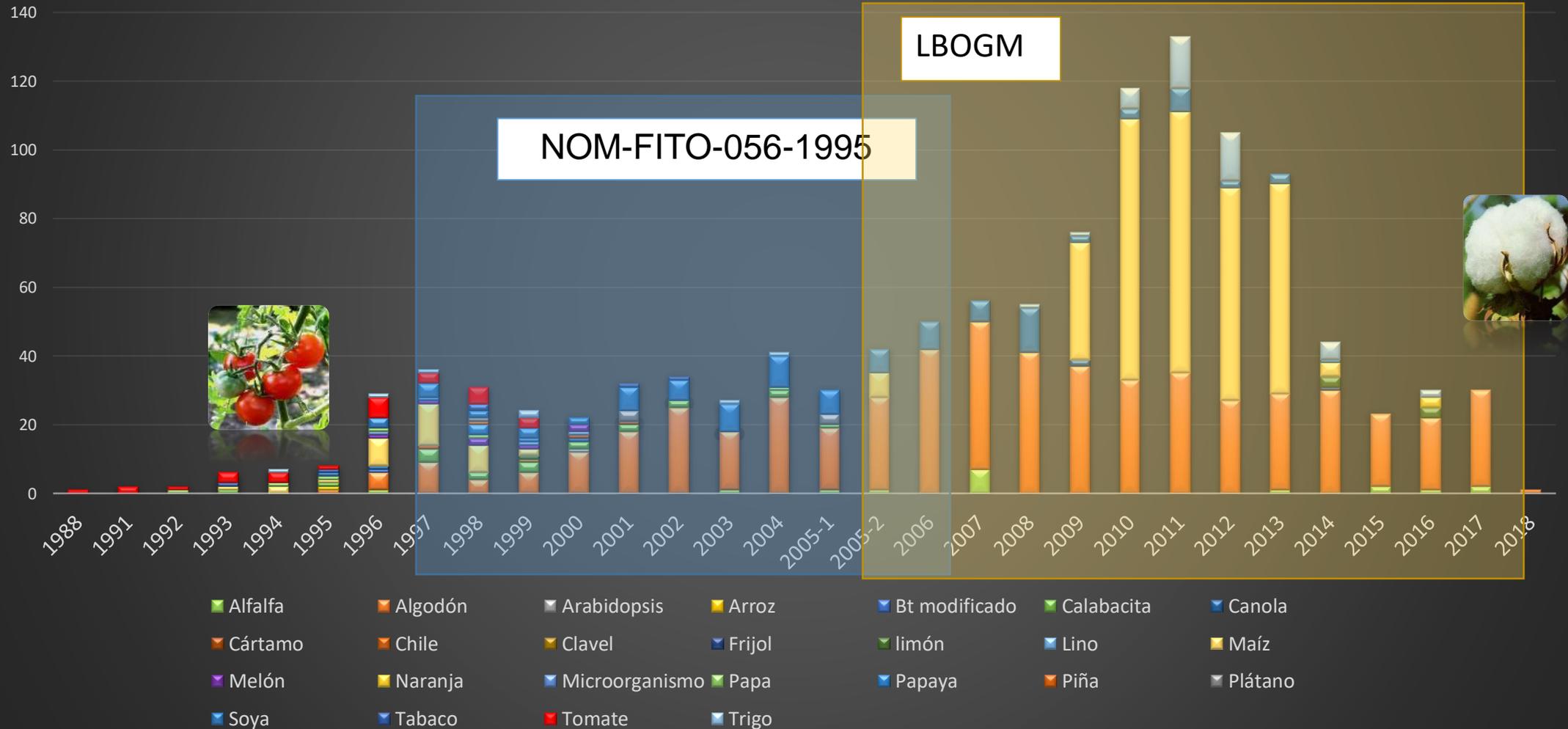
Áreas geográficas de los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora, que constituyen centros de origen y diversidad del maíz, incluyendo a sus parientes silvestres.



- Centros de Origen y Diversidad Genética
- Colectas de maíz
- Parientes silvestres
- Distritos de Riego (zonas potenciales para la siembra de Maíz GM)

Implementación de la regulación en bioseguridad de OGMs

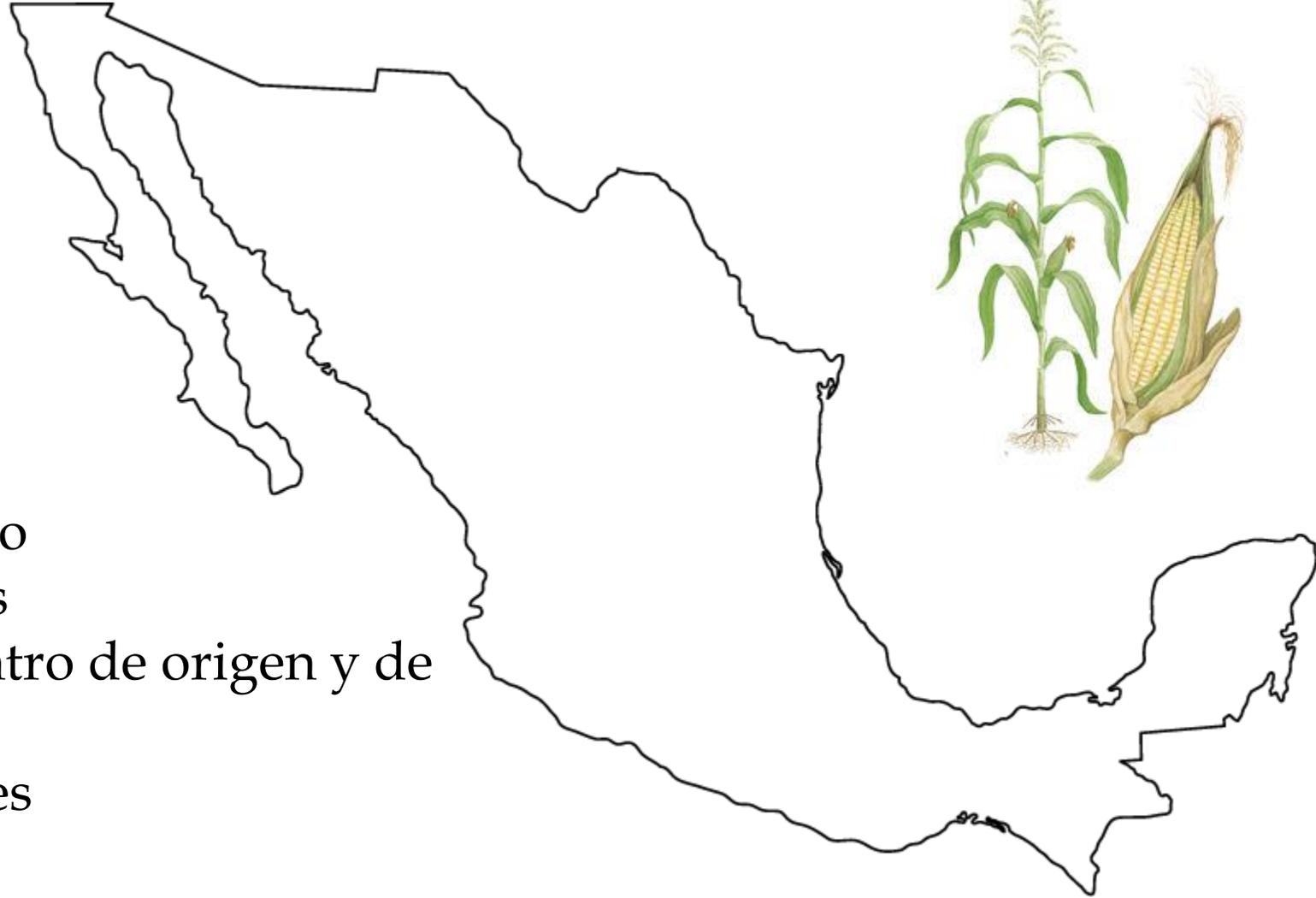
Solicitudes de liberación al ambiente de cultivos GM
(periodo 1988-2018)
actualizado al 6 de marzo de 2018



- ✓ **Disponibilidad de información** sobre el organismo receptor, la modificación genética y el **probable medio receptor;**

Zea mays ssp. mays

- Cereal más cultivado en México
- ~ 60 razas y variedades nativas
- Parte de Mesoamérica es el centro de origen y de diversificación del maíz
- Presencia de parientes silvestres



Zea mays ssp. mays

- Sistemas agrícolas contrastantes
- Sistemas tradicionales: agricultura de autoconsumo, guardan e intercambian semillas
- Eventos/apilados de maíz GM aprobados en el mundo
- 80 eventos aprobados de maíz para consumo humano o el procesamiento



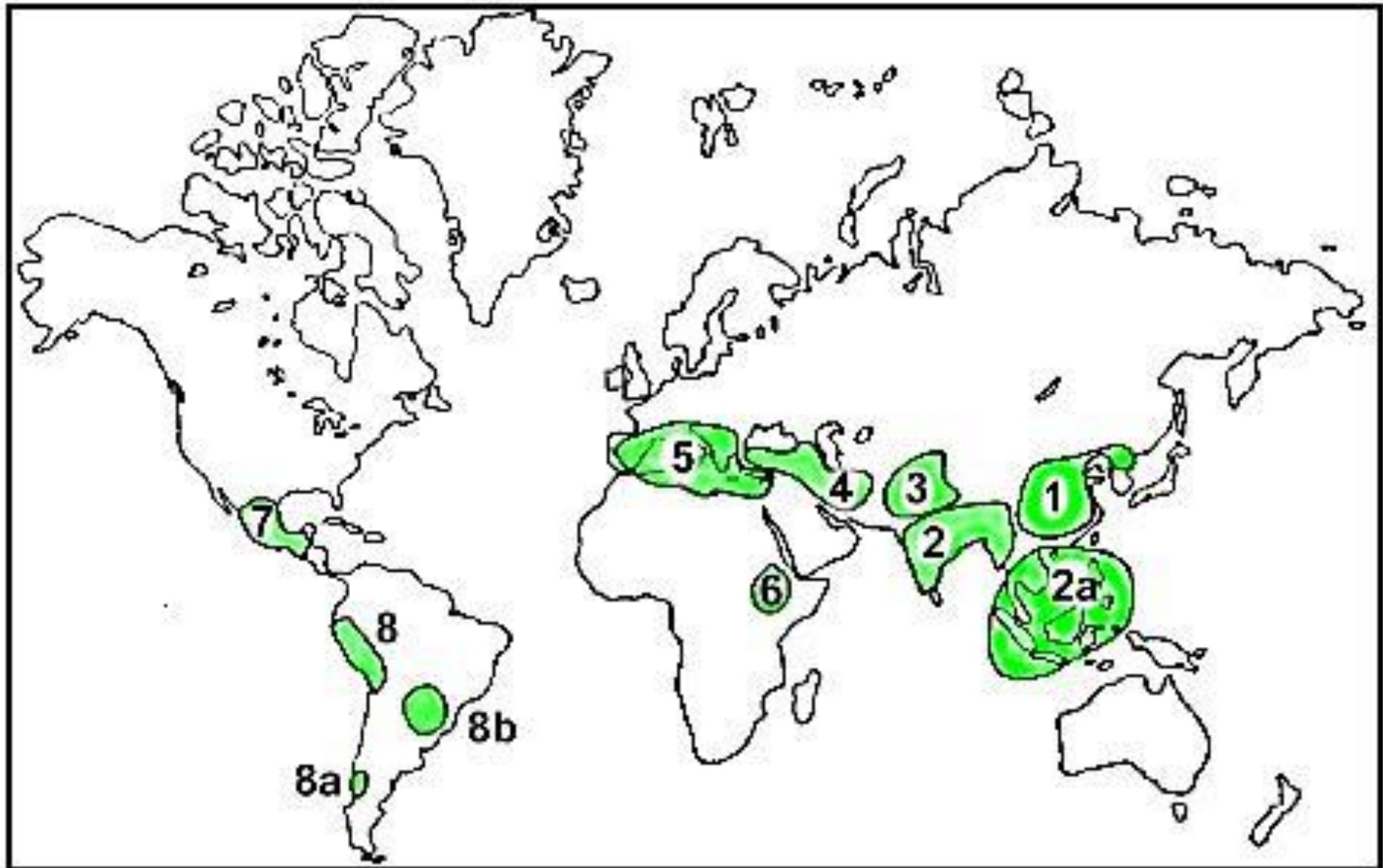
Algunos datos de la genómica del maíz:

- Entre 30,000 y 40,000 genes
- Cerca del 85% del genoma son elementos transponibles
- Diversidad genética muy amplia (hasta 1.42% entre variedades)
- Más de 1,000 genes han sido seleccionados artificialmente
- Gran variación en el tamaño del genoma

ESTUDIO DE CASO

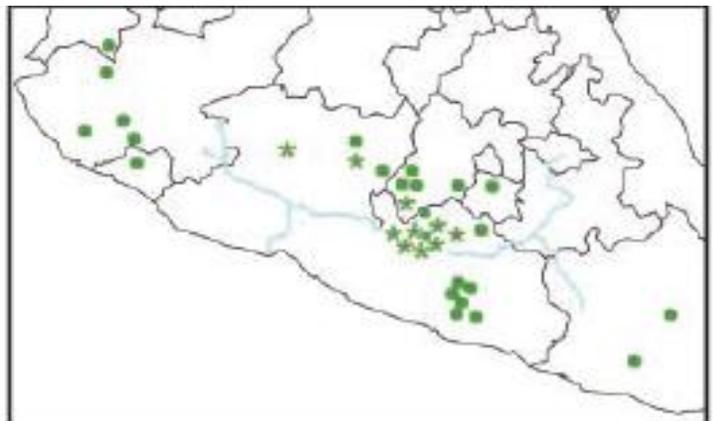
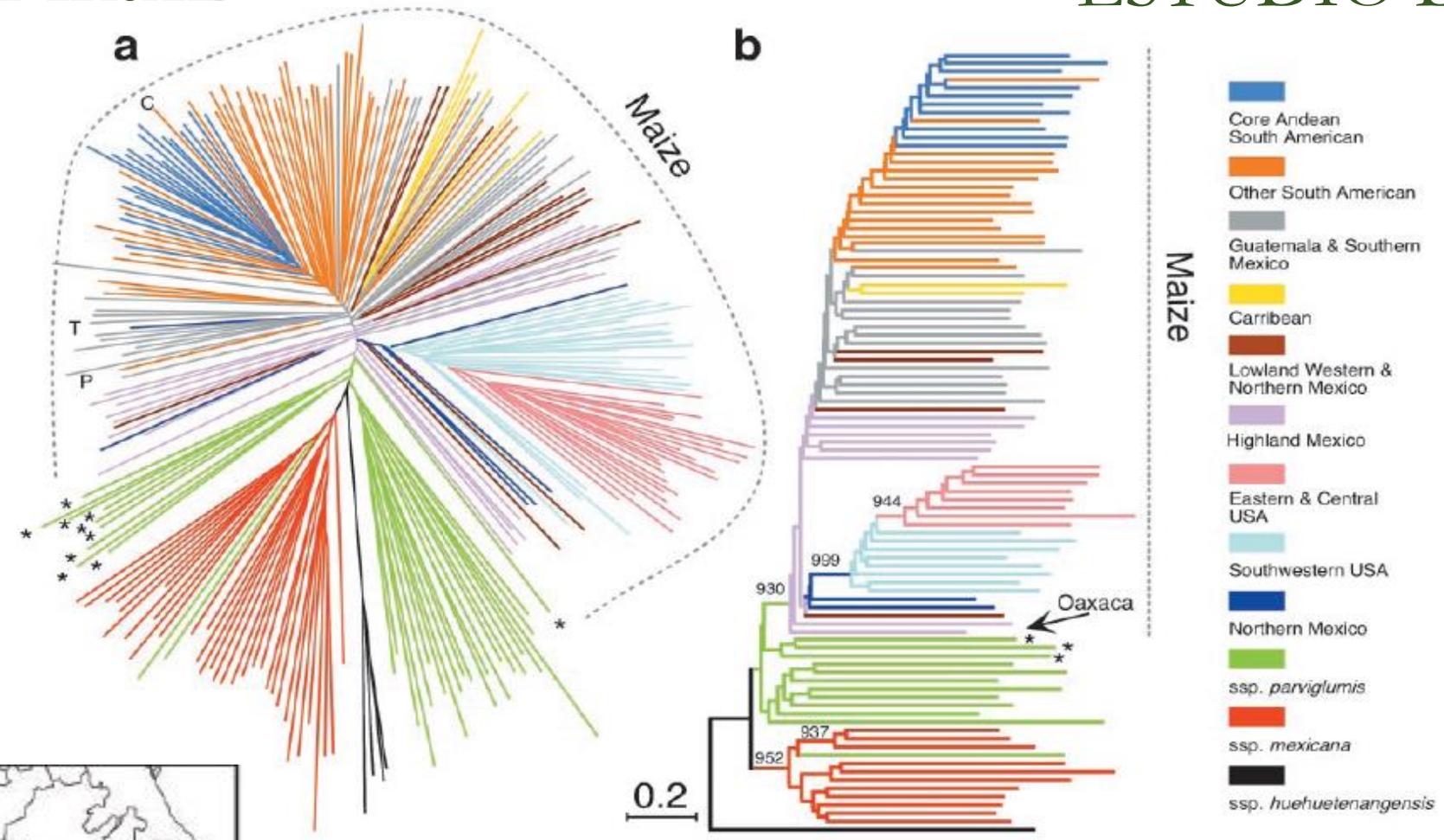


Los Centros de Origen de Vavilov



Origen del maíz

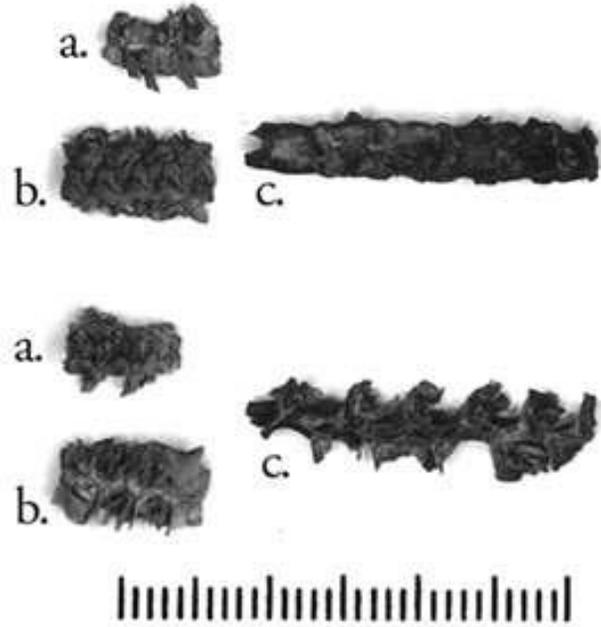
ESTUDIO DE CASO



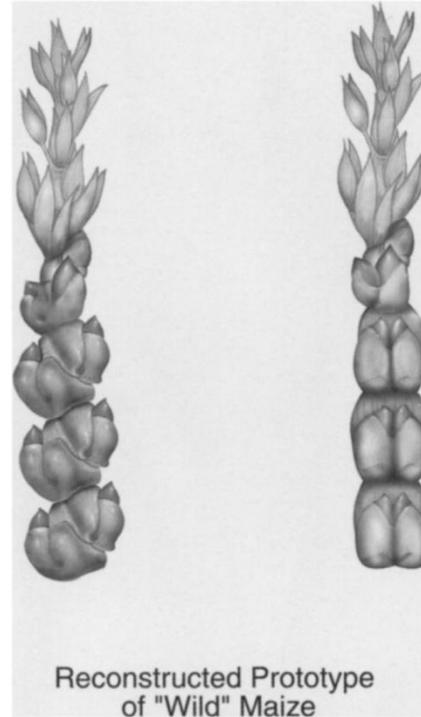
Matsuoka et al, (2002), presentan evidencia de un sólo evento de domesticación para el maíz a partir de la Subespecie *Z. mays parviglumis*

Domesticación del maíz

ESTUDIO DE CASO



Mazorcas primitivas



Una mutación espontánea que ligó inseparablemente al “maíz” con el hombre, iniciando todo un proceso de co-evolución que aún vemos en nuestros días. El hombre se hace responsable del cuidado y reproducción del maíz, y el maíz lo recompensa ofreciéndole la mazorca.

Domesticación del maíz

ESTUDIO DE CASO

Existe evidencia de que se utilizaban los tallos.

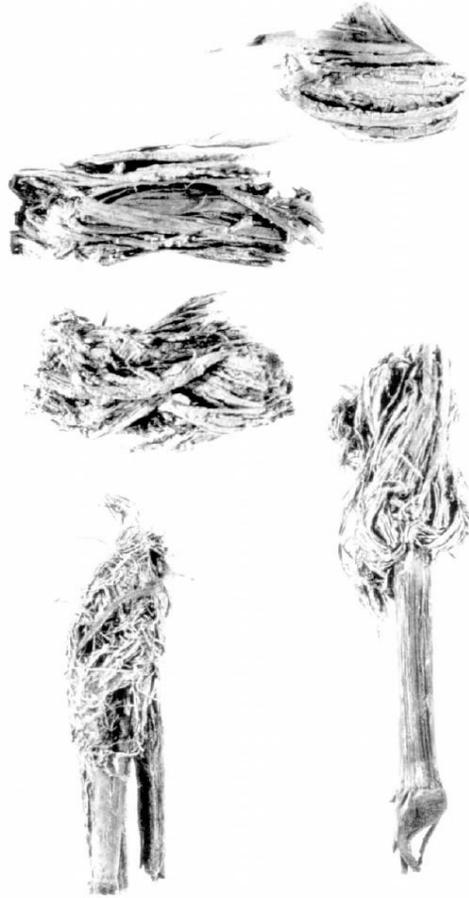


FIG. 2. Maize cobs from the Palo Blanco phase at an Marcos Cave, Tehuacán Valley (Mangelsdorf et al.



Olotes de restos arqueológicos del Valle de Tehuacán ilustran la secuencia evolutiva completa de la domesticación del maíz desde hace aproximadamente 5000 A.C. (el pequeño arriba) hasta hace 1500 D.C (el más grande en la base).

Photo courtesy of the Robert S. Peabody Museum, Phillips Academy, Andover, MA.

Los Aztecas llegaron al valle de México en aprox. 1200 B.C

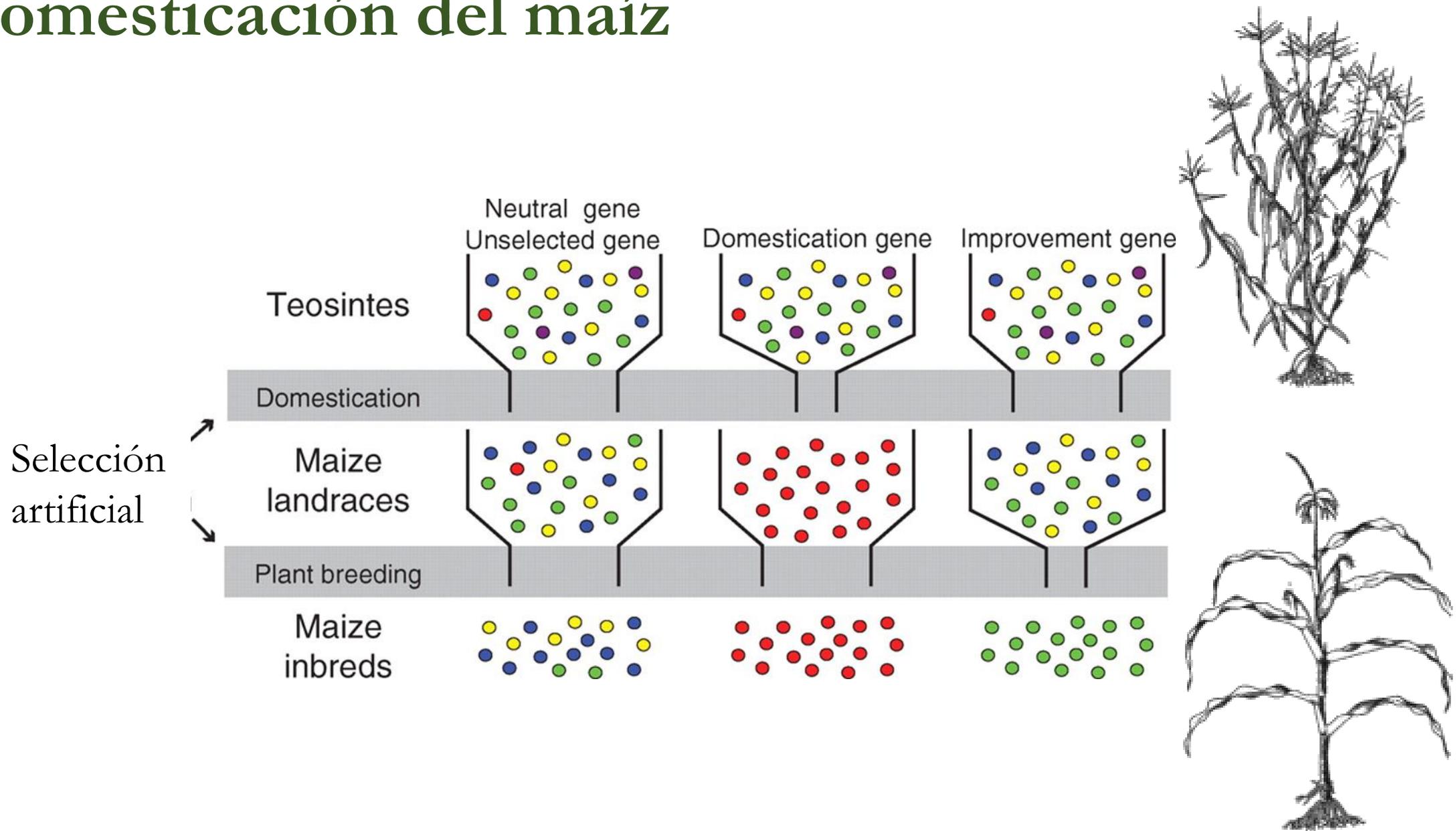
Cambios en teocintle por el proceso de domesticación.

ESTUDIO DE CASO

- Pierde dispersión de semillas
- Pierde cutícula dura
- Incrementa tamaño de mazorca
- Pierden latencia
- Pierde diversidad genética



Domesticación del maíz



([Yamasaki et al., 2005](#)).

Taxonomía del maíz

ESTUDIO DE CASO



Family Poaceae
Tribe Maydeae
Section ZEA

Zea (6)

Tripsacum (12)

Clasificación by Iltis & Doebley (1980) and
Doebley & Iltis (1980), Sánchez (2018)

ZEA

Zea mays ssp. *mays*

Z. mays ssp. *mexicana*

Z. mays spp. *parviglumis*

Z. mays spp. *huehuetenanguensis*

LUXURIANTES

Z. diploperennis

Z. perennis

Z. luxurians

Z. nicaraguensis (Iltis & Benz, 2000)

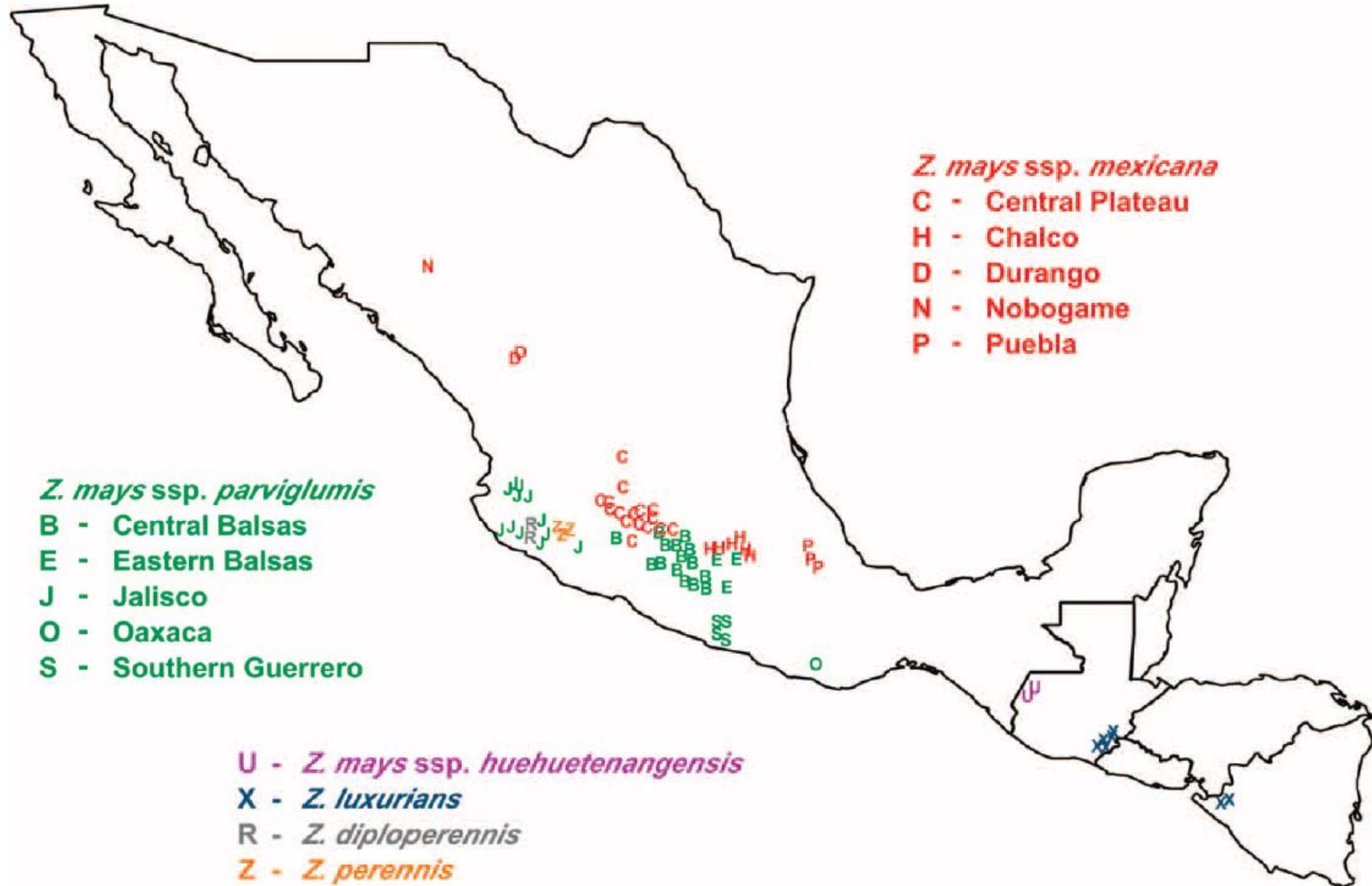
Z. vespertilio (Gomez Laurito, 2013)

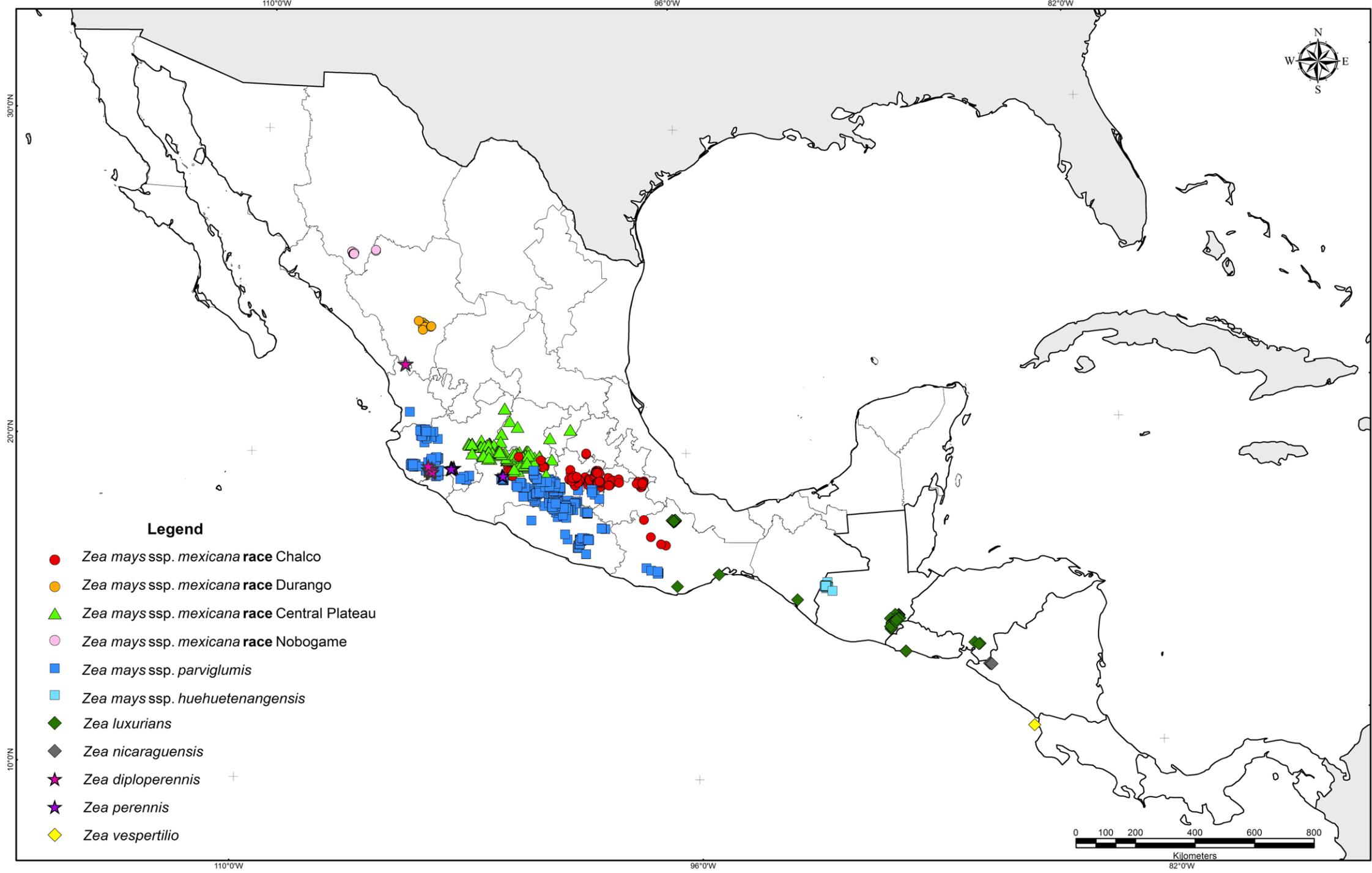
Distribución geográfica de las poblaciones de teocintle

2242

K. Fukunaga *et al.*

2005





Tasa de Hibridación en *Zea mays*

Donador de polen	Produce semilla	Tasa de hibridación (%)	Observaciones
<i>Z. m. ssp. mays</i>	<i>Z. m. ssp. mexicana</i>	0.2	En invernadero 2825 semillas probadas 2 sobrevivieron herbicida
<i>Z. m. ssp. mays</i>	<i>Z. m. ssp. mexicana</i>	0.0004	En campo ~ 500,000 probadas semillas 1 sobrevivió herbicida
<i>Z. m. ssp. mays</i>	<i>Z. m. ssp. mexicana</i>	0	En invernadero 14 590 semillas probadas 0 sobreviven herbicida
<i>Z. m. ssp. mays</i>	<i>Z. m. ssp. mexicana</i>	0.005	En campo ~ 350,000 probadas semillas 8 sobrevivió herbicida
<i>Z. m. ssp. mexicana</i>	<i>Z. m. ssp. mays</i>	0	En laboratorio 1500 semillas analizadas con Isoenzimas 0
<i>Z. m. ssp. mays</i>	<i>Z. m. ssp. mexicana</i>	0.2	En invernadero 1 530 semillas probadas 2 sobreviven herbicida
<i>Z. m. ssp. mays</i>	<i>Z. m. ssp. parviglumis</i>	100	En invernadero 25 semillas probadas 13 sobreviven herbicida

El polen del maíz no funciona en los estigmas del teocintle

Teosinte pollen

Maize pollen



Teosinte ear shoot



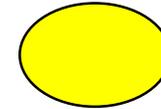
Maize ear shoot

ESTUDIO DE CASO

Teocintle



Maíz

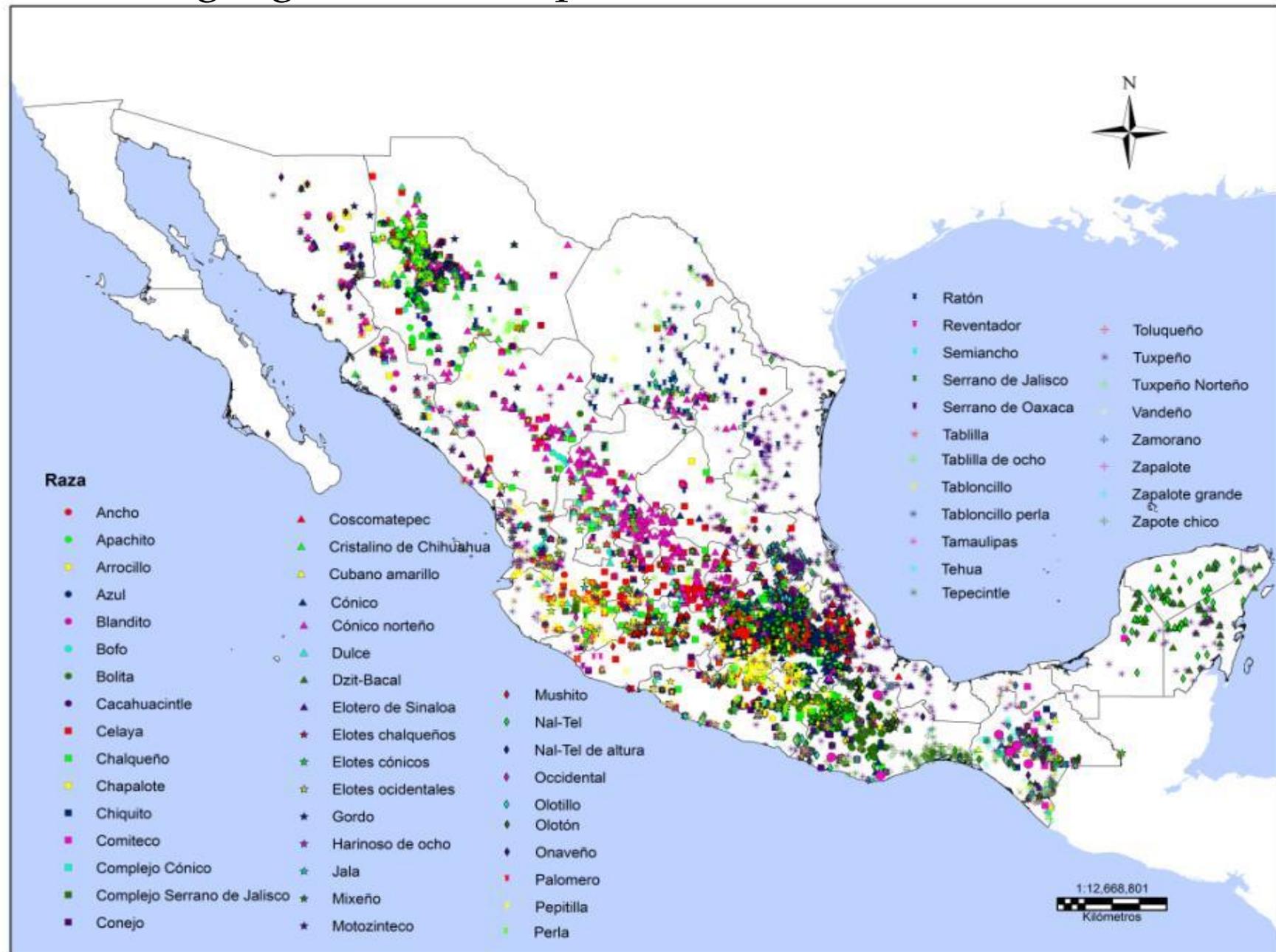


Species	Race	Silk length (cm) ^a	Pollen diameter (μm) ^b
<i>Zea mays</i>		14	81
<i>ssp. mays</i>	Maize	27	99
<i>ssp. mexicana</i>	Chalco	10	76
<i>ssp. mexicana</i>	Central Plateau	10	75

Distribución geográfica de las poblaciones de variedades nativas

La colecta dirigida se ha realizado en: **2002, 2004, 2008, 2009 y 2012**, a la fecha se tienen resguardadas: **21,424 accesiones**.

✓ Actualmente se ha colectado en 26 Estados.
 ✓ Falta por colectar en: Baja California, Baja California Sur, Zacatecas, Aguascalientes, Tabasco y Campeche.



Dispersión del polen de maíz

Distancias de aislamiento para limitar flujo de polen

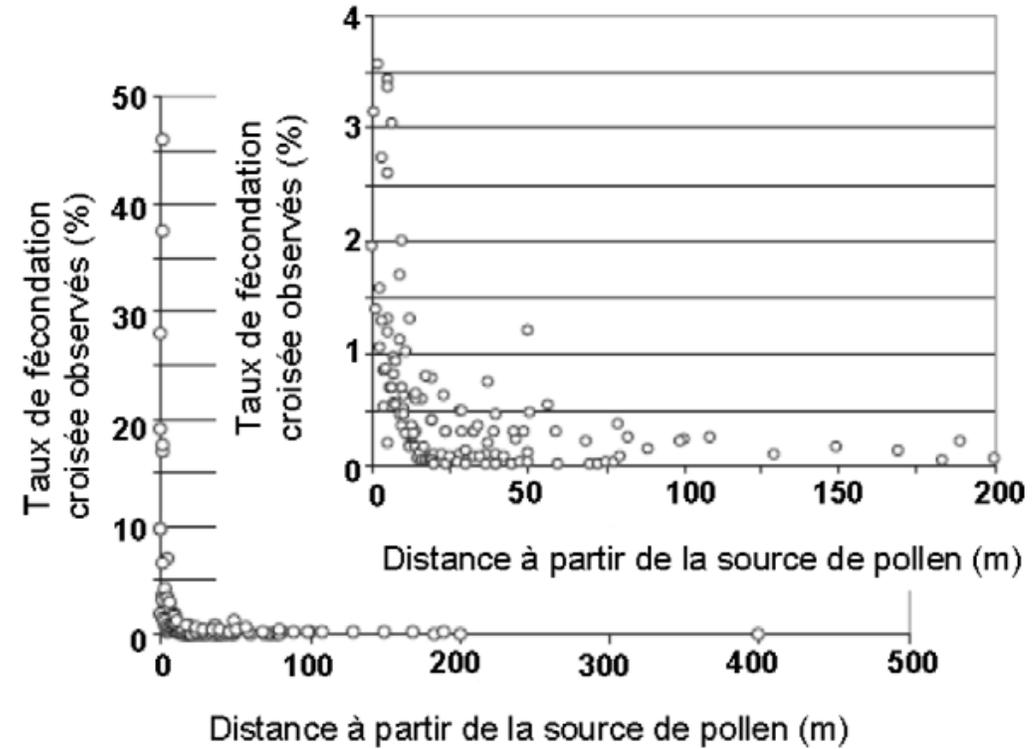
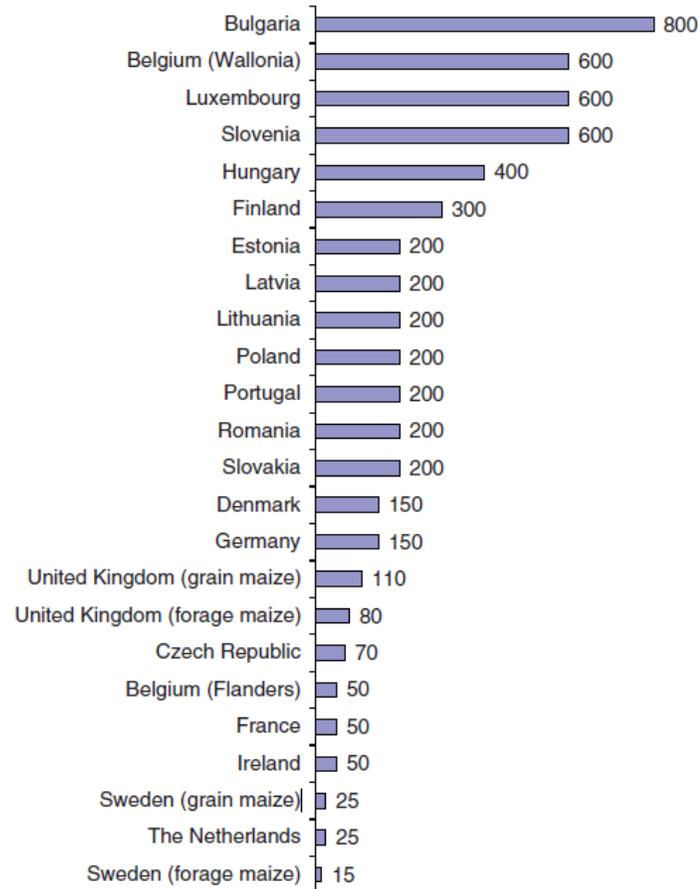
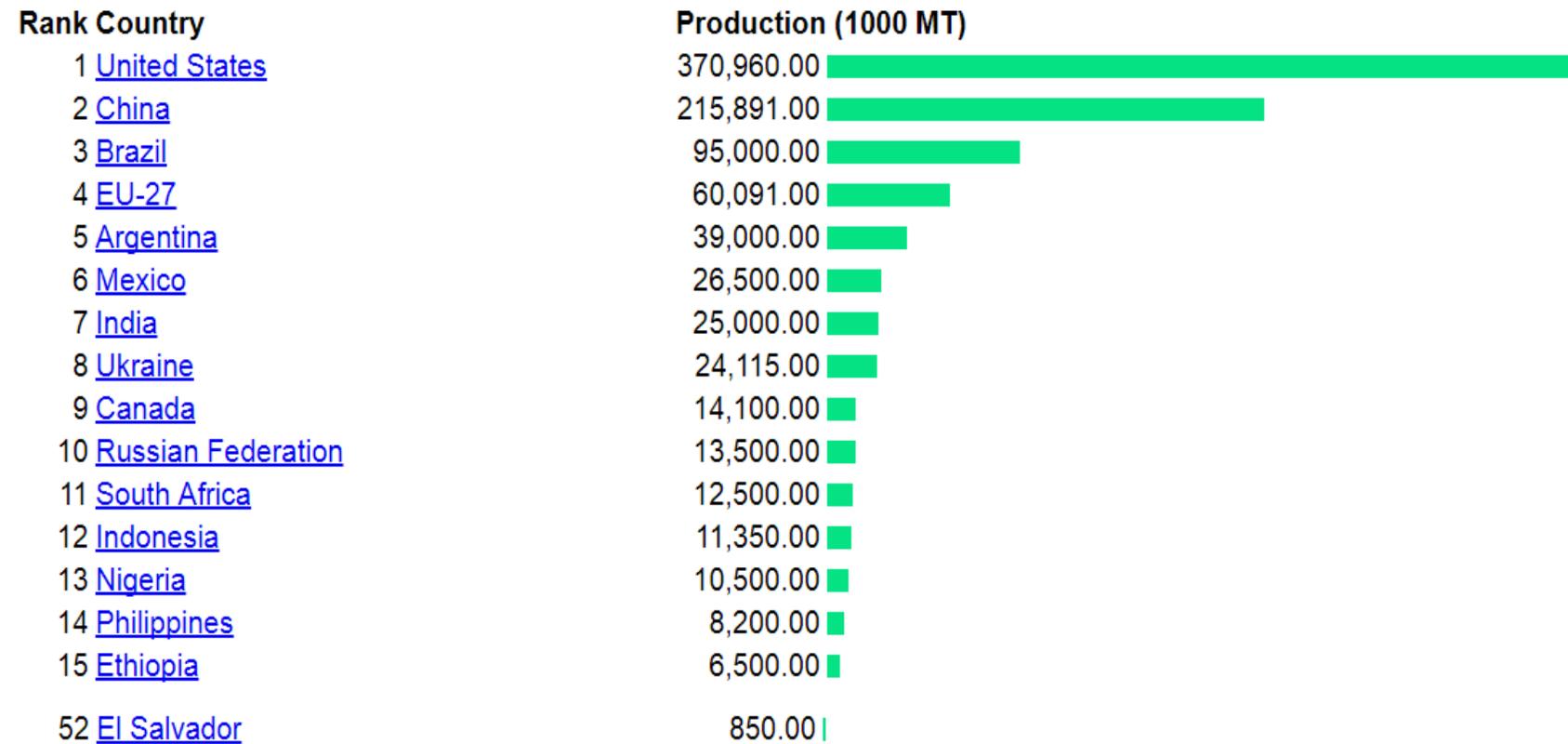


Figure 1. Isolation distances (m) put forward by European member states to ensure coexistence between genetically modified (GM) and non-GM maize. Isolation distances to organic farming are not shown (source: European Commission^{27,28,55}).

Fuente Ricoch et al 2009
Revisión de 562 publicaciones

Producción de maíz

México es el ~quinto/sexta productor de maíz en el mundo después de EEUU, China y Brasil (India, Argentina, Ucrania,) Es el ~segundo IMPORTADOR (después de Japón hasta 2016)



Comercio de maíz

México es el ~segundo IMPORTADOR (después de Japón)

Promedio de rendimiento 3.17 ton/ha

Rendimiento productivo es 38% menor que el promedio mundial

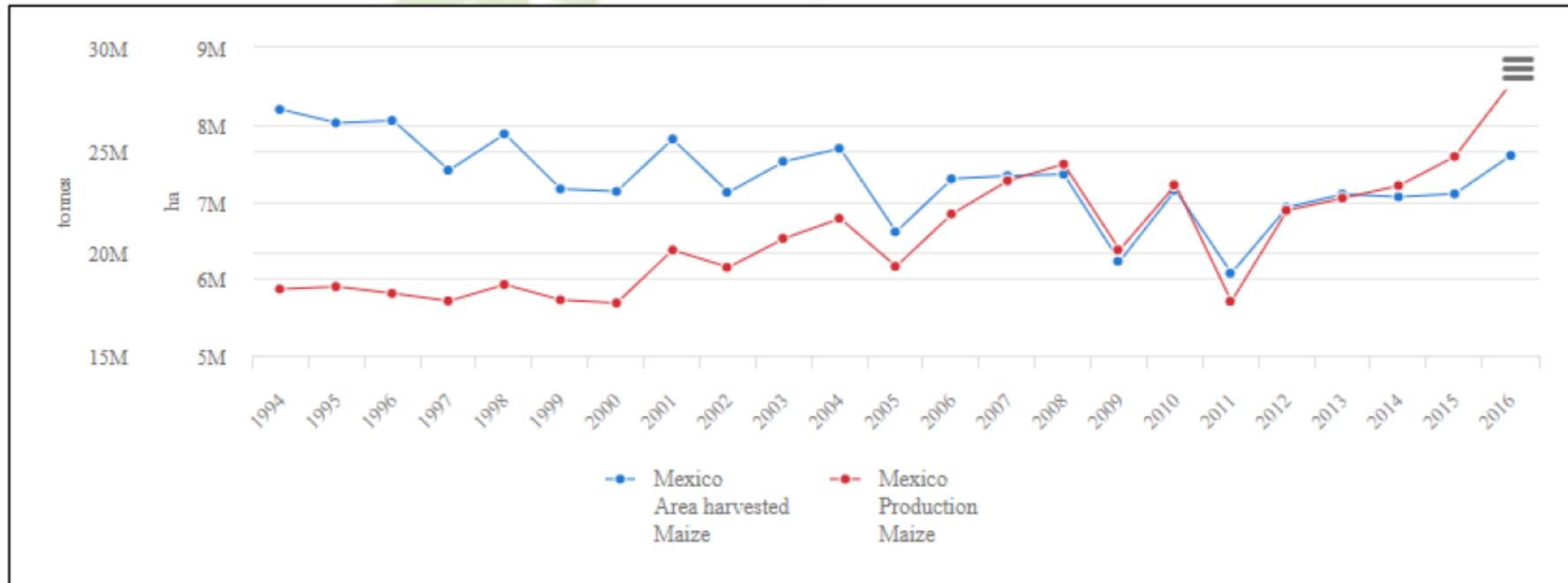
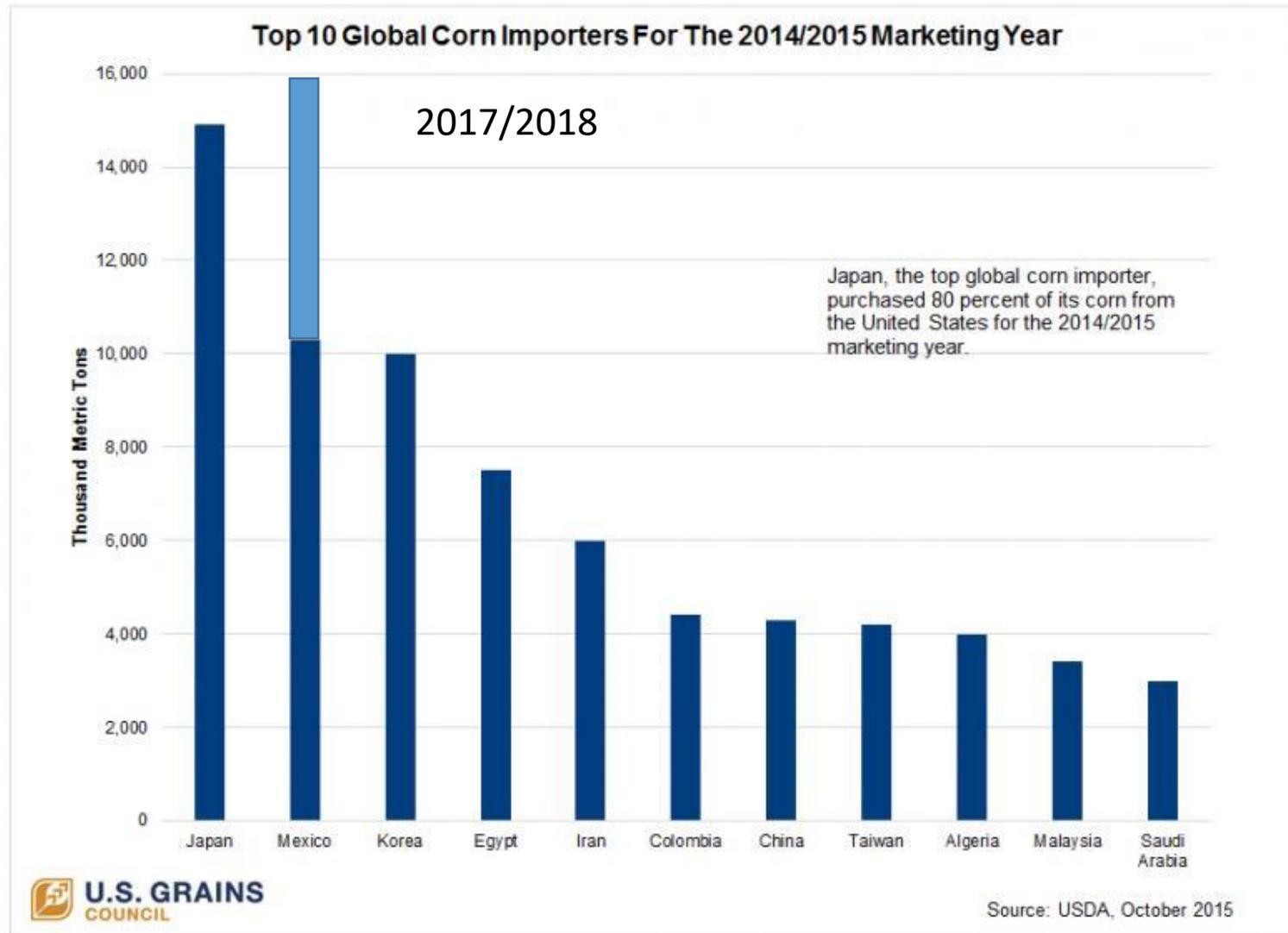


Figura 1. Producción de maíz en México, 1993-2016 (FAOSTAT, 2017).

Comercio internacional de maíz



Razones:
Consumo per
cápita

**267 gramos de maíz por día
por persona**

Global maize production, utilization, and consumption

Peter Ranum,¹ Juan Pablo Peña-Rosas,² and Maria Nieves Garcia-Casal³



ESTUDIO DE CASO

Países con los niveles más altos de consumo de maíz (WHO)

g/persona/día

América Latina

México	267
Guatemala	187
Honduras	169
El Salvador	157
Nicaragua	148
Venezuela	135
Paraguay	121
Colombia	92
Bolivia	86
Cuba	66
Uruguay	63
Belize	61
Brazil	55
Panama	53
Haiti	50

África

Lesotho	328
Malawi	293
Zambia	243
Zimbabwe	241
South Africa	222
Kenya	171
Togo	160
Swaziland	152
Tanzania	128
Namibia	127
Benin	119
Mozambique	116
Burkina Faso	107
Ethiopia	94
Angola	81
Botswana	78
Cameroon	75
Cape Verde	72
Central African Republic	71
Mali	70
Seychelles	69
Senegal	62
Nigeria	60
Ghana	53
Uganda	52

Global maize production, utilization, and consumption

ESTUDIO DE CASO

...En México el maíz blanco es para elaborar tortillas y consumo humano, el maíz amarillo generalmente se importa para el procesamiento y alimento animal.



Vs



Usos de los jarabes de maíz

Bebidas en polvo

La maltodextrina se utiliza como vehículo y agente texturizante.

Helados

Los jarabes de glucosa aportan textura, brillo y disminuyen la temperatura de congelamiento. Provocan una sensación refrescante en el paladar y realzan el sabor frutal.

Confitería

Los jarabes de glucosa son utilizados como anticristalizantes del azúcar, reguladores del dulzor, generadores de brillo y además mejoran la maquinabilidad en los procesos industriales.

Postres

Los jarabes de maíz aportan dulzor y textura.

Snacks

Los jarabes de maíz aportan dulzor y ayudan al proceso de caramelización de algunos productos.

Carnes procesadas

Incrementa el pardeamiento de la carne durante la cocción.

Dulces de leche

Los jarabes de glucosa regulan el dulzor, aportan suavidad al paladar y evitan la recrystalización del azúcar.

Pero también:



Los productores se clasifican en:

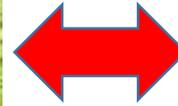
Microproductores. La producción es principalmente para autoconsumo y ocasionalmente para comercio interno. Generalmente no se utilizan maquinarias ni agroquímicos,

Productores de mediana y pequeña escala. La producción está orientada a satisfacer las necesidades de un cliente en particular. Usualmente se utiliza tecnología y semillas locales mejoradas,

Productores de gran escala. La producción está orientada a satisfacer las demandas de los mercados. Siempre se presentan altos rendimientos, y generalmente dichos productores reciben asesorías de expertos.



Producción de maíz en México

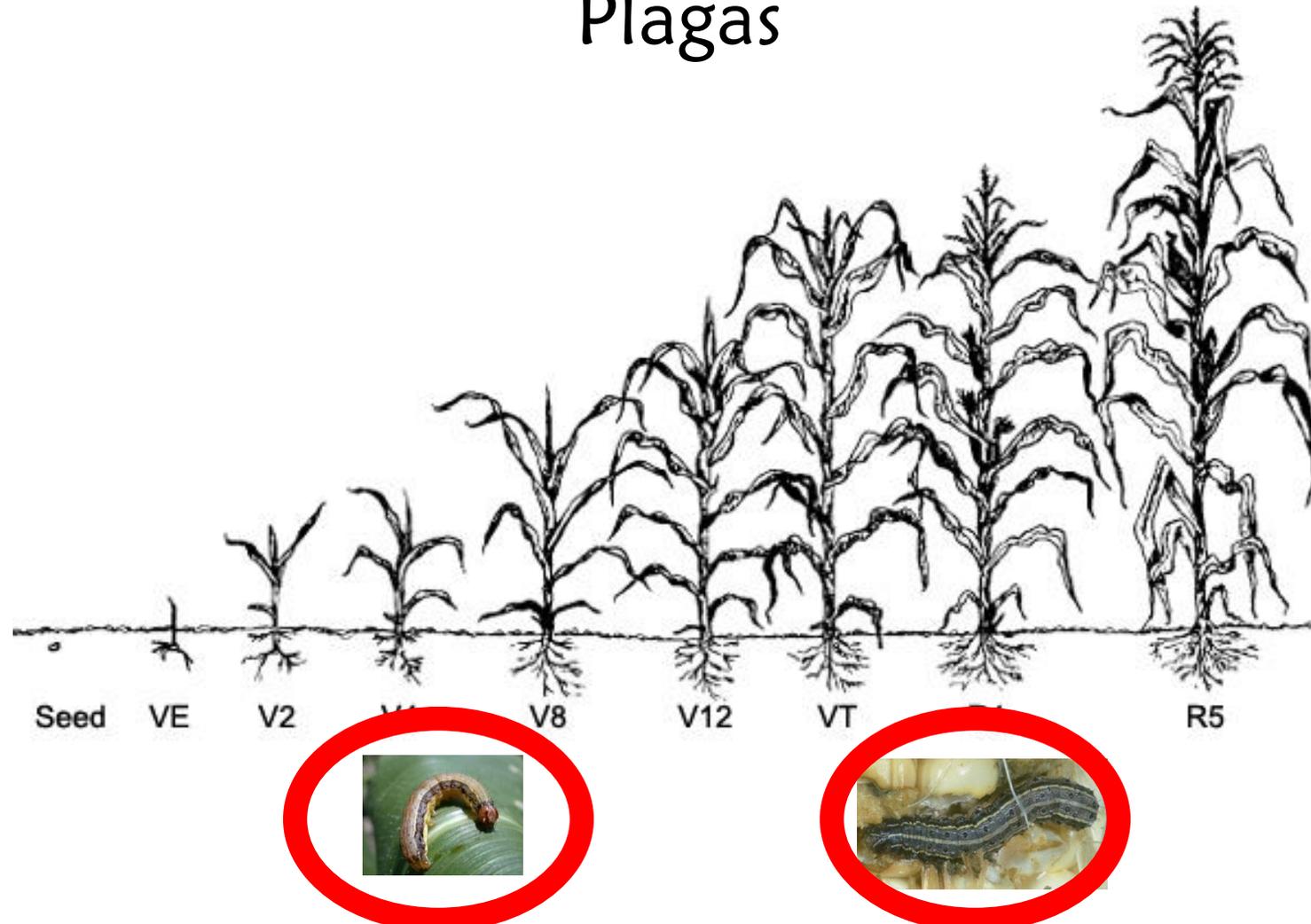


2 millones de productores de maíz
6.8 millones de hectáreas

Maize Pests in Mexico and Challenges for the Adoption of Integrated Pest Management Programs

Carlos A. Blanco,^{1,2} José; Guadalupe Pellegaud,³ Urbano Nava-Camberos,⁴ David Lugo-Barrera,⁵ Paulina Vega-Aquino,³ Jesús Coello,⁶ Antonio P. Terán-Vargas,⁷ AND Jesús Vargas-Camplis⁷

Parte del problema: Plagas



Maize Pests in Mexico and Challenges for the Adoption of Integrated Pest Management Programs

Carlos A. Blanco,^{1,2} José; Guadalupe Pellegaud,³ Urbano Nava-Camberos,⁴ David Lugo-Barrera,⁵ Paulina Vega-Aquino,³ Jesús Coello,⁶ Antonio P. Terán-Vargas,⁷ AND Jesús Vargas-Camplis⁷

Parte del problema: Malezas

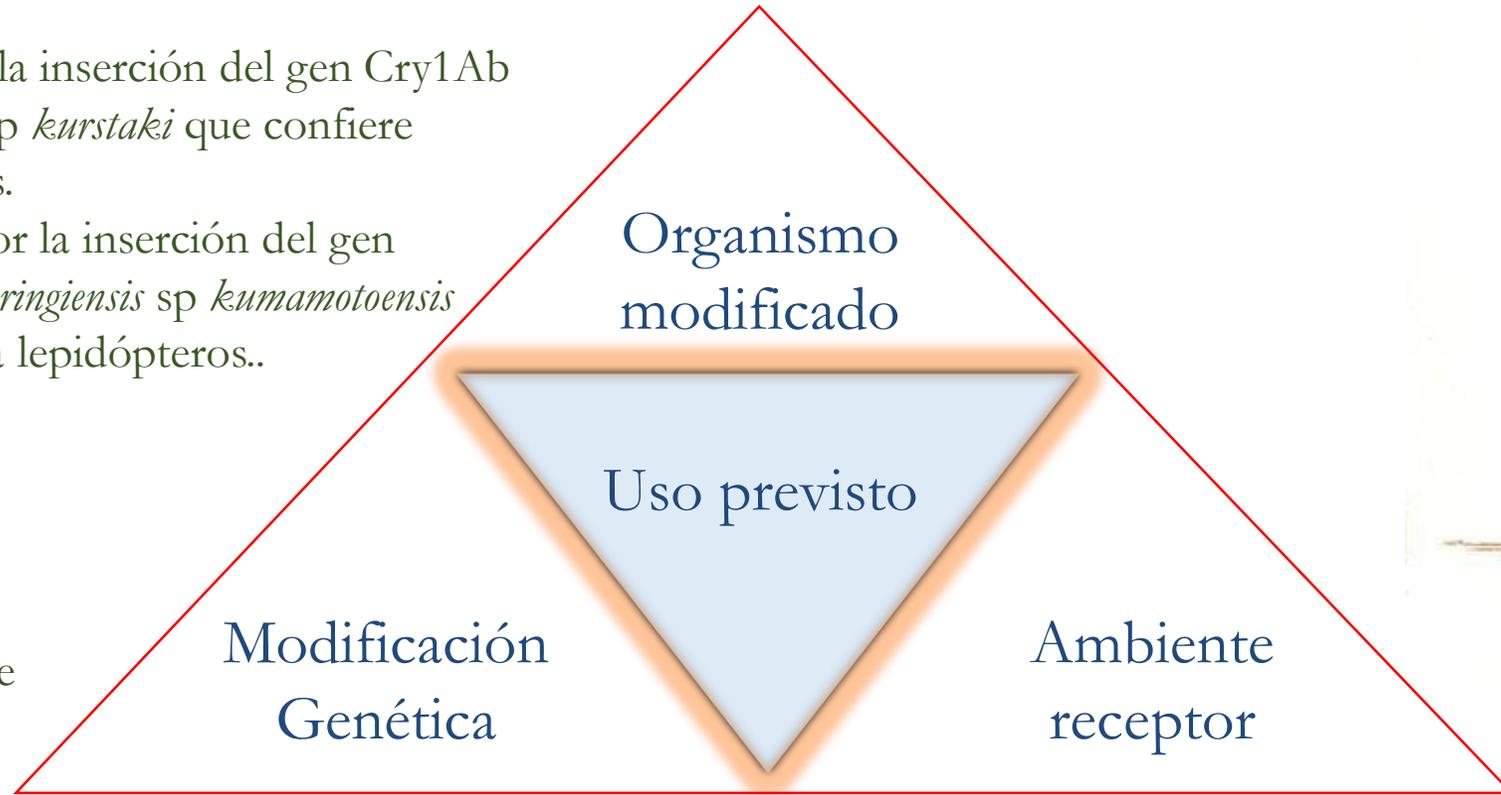


Maize Pests in Mexico and Challenges for the Adoption of Integrated Pest Management Programs

Carlos A. Blanco,^{1,2} José; Guadalupe Pellegaud,³ Urbano Nava-Camberos,⁴ David Lugo-Barrera,⁵ Paulina Vega-Aquino,³ Jesús Coello,⁶ Antonio P. Terán-Vargas,⁷ AND Jesús Vargas-Camplis⁷

Tolerancia a herbicidas resistencia a coleópteros y lepidópteros

- Produce toxina Bt por la inserción del gen Cry1Ab de *Bacillus thuringiensis* sp *kurstaki* que confiere resistencia lepidópteros.
- Produce la toxina Bt por la inserción del gen Cry3Bb1 de *Bacillus thuringiensis* sp *kumamotoensis* que confiere resistencia lepidópteros..
- Tolera aplicaciones directas del herbicidas cuyo ingrediente activo es el Glifosato.
- Se le insertó un gen que codifica para una variante de la enzima ENOL-PIRUVIL-SHIKIMATO-FOSFOSINTASA (CP4 EPSPS).



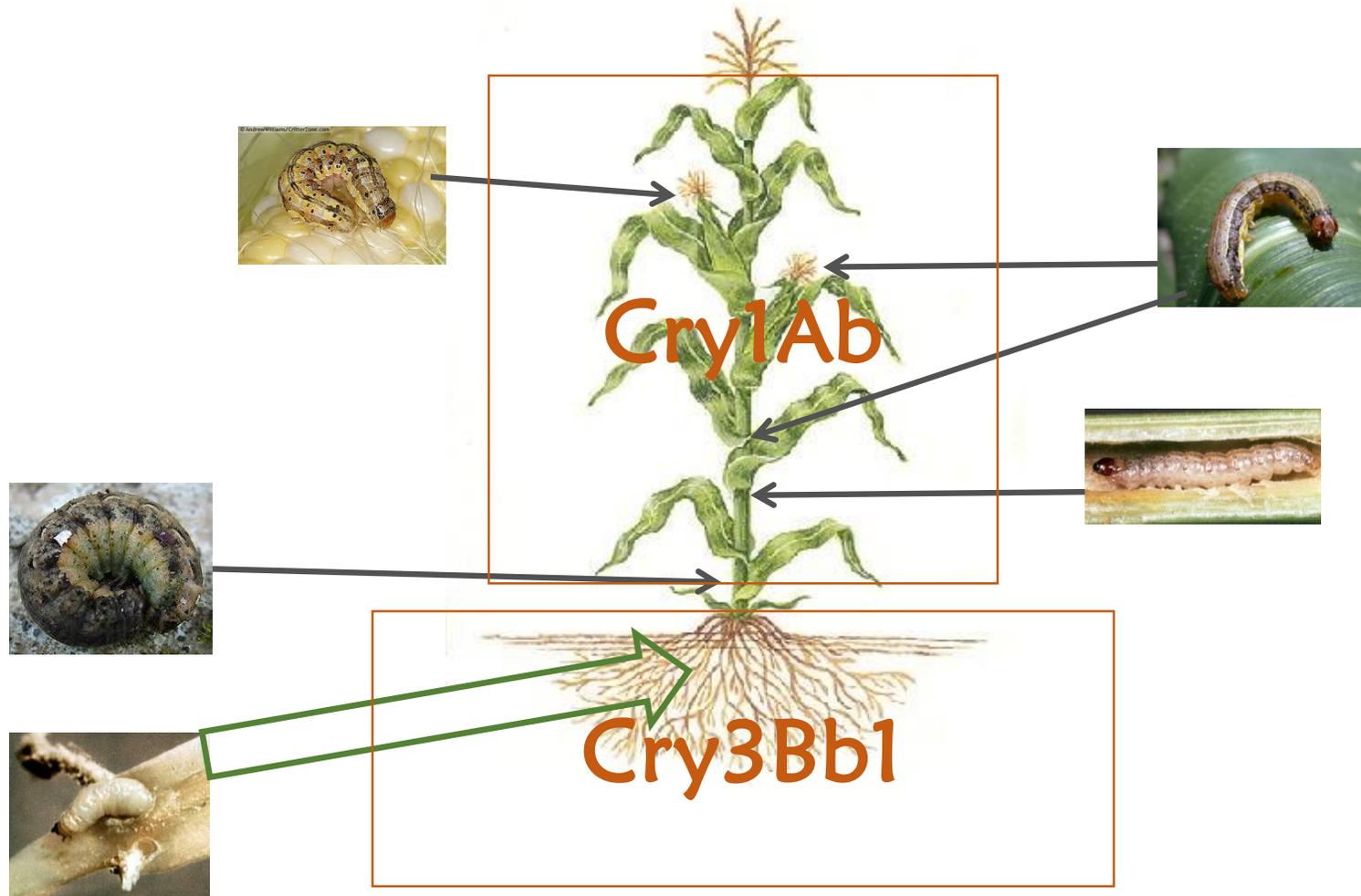
Liberación al ambiente en etapa comercial



Distritos de riego del Norte de Tamaulipas



Dos proteínas insecticidas de *Bacillus thuringiensis* se expresan en este evento:

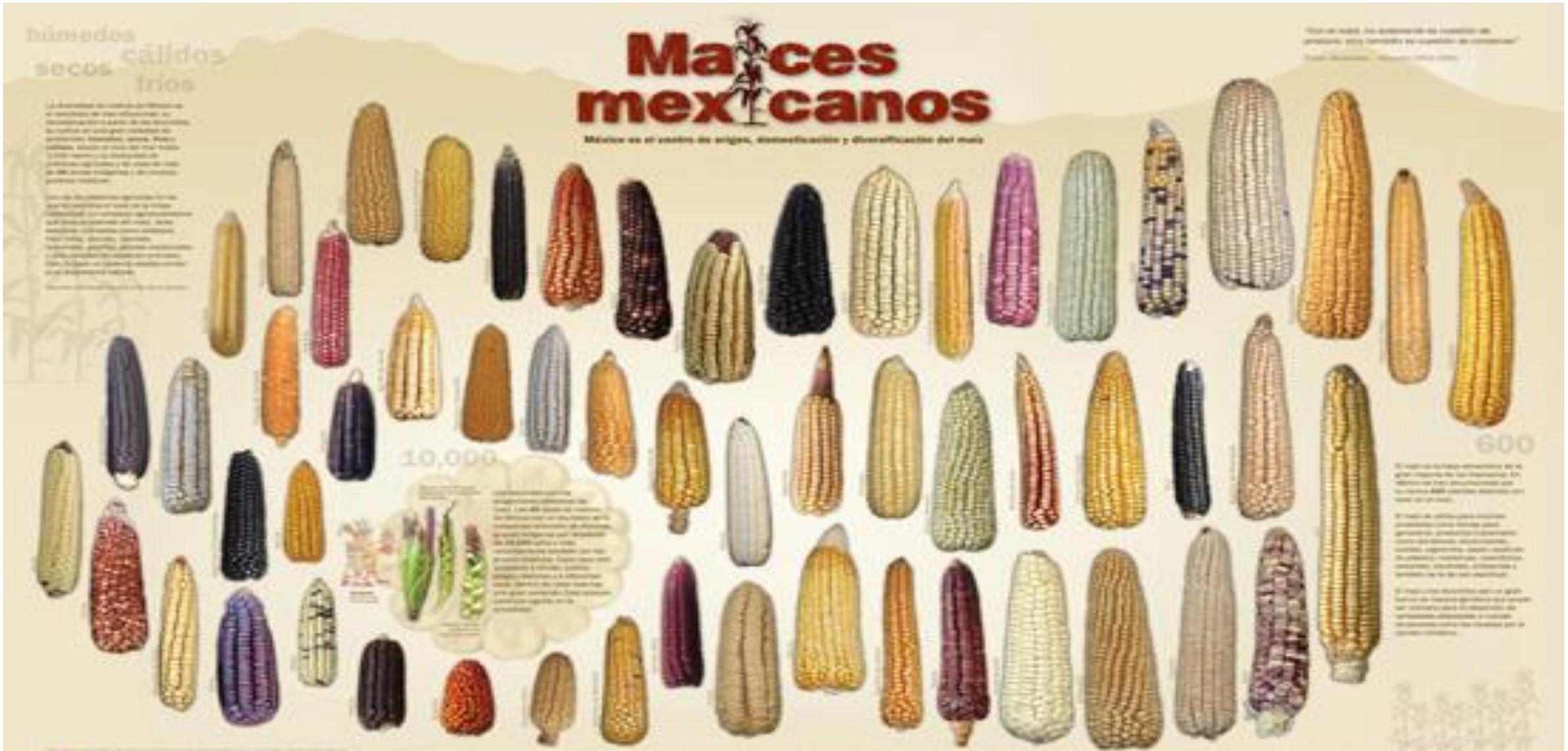




RESUMEN DEL ESTUDIO DE CASO

Nombre del evento	Maíz RI+TH
Especie	<i>Zea mays ssp mays</i> L.
Característica insertada	Resistente a coleópteros, lepidópteros y tolerante al herbicida glifosato.
Gen, producto del gen o fuente y fragmento del gen	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cry1Ab</i> de <i>Bacillus thuringiensis ssp. kurstaki</i>. • <i>Cry3Bb1</i> de <i>Bacillus thuringiensis subsp. kumamotoensis</i>. • <i>Epsps</i> de <i>Agrobacterium</i> cepa CP4. • Promotor del virus del mosaico de la coliflor (<i>CaMV</i>, por sus siglas en inglés) asociado a altos niveles de expresión en raíces, conteniendo 4 copias tándem de la secuenciación de activación 1 (AS1) que corresponde a una secuencia de 21 pares de bases derivada del promotor <i>CaMV</i> 35S (35S) fusionado a una porción adicional del 35S. • La región no codificante 3' de la subunidad pequeña rubisco en trigo (<i>Triticum aestivum</i>). Rubisco confiere la intensificación de la traducción, termina la transcripción y dirige la poliadenilación (terminación). • La región no codificante 3' de la subunidad pequeña de rubisco en arroz (<i>Oryza sativa</i>). Rubisco confiere la intensificación de la traducción, termina la transcripción y dirige la poliadenilación (terminación).
Método de introducción	Los genes fueron insertados en los eventos individuales (evento 1, 2 y 3) utilizando la transformación mediada por <i>Agrobacterium</i> , con el tiempo los nuevos rasgos de cada línea parental se combinaron gracias a métodos de fitomejoramiento tradicional para producir este nuevo híbrido (evento apilado).
Sitio y tipo previsto de liberación	<p>Sitio: regiones de cultivación de maíz en México</p> <p>Tipo: Comercialización en el mercado (cultivación generalizada no confinado)</p>
Uso previsto/justificación	Reducción del aporte de pesticidas, incremento del control de malezas, incremento de la producción de maíz.

Política para el fomento y conservación del maíz nativo en México



El maíz es patrimonio biológico, agrícola, cultural y económico de México

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

www.conabio.gob.mx



FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

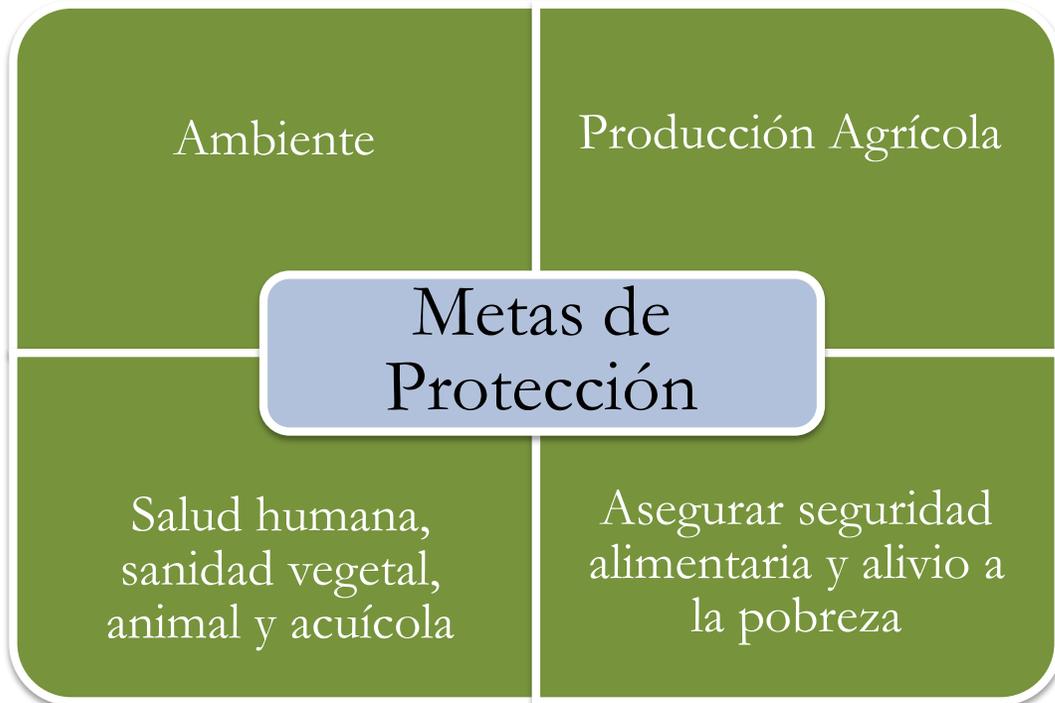
La estrategia cuenta con los siguientes pasos clave:

- 1) A partir de la identificación de metas de protección, **reunir una lista de entidades (ecológicas y sus atributos)**, que posiblemente puedan ser afectadas por la introducción de un OVM
- 2) Basado en las metas identificadas y en las entidades que pueden ser afectadas, crear una **lista de posible daños**
- 3) Reafirmar los daños por medio de **hipótesis de riesgo** que describen el daño en forma de un oración declarativa simple,
- 4) Elaborar una **ruta al daño** que explique una **cadena de causas y efectos** de cómo el OVM podría dar lugar al daño y la magnitud de este,
- 5) Evaluar **cómo el conocimiento científico apoya o invalida** cada paso de la ruta,
- 6) Considerar alguna limitación a las conclusiones, por ejemplo, si detener la ruta al daño constituye una refutación formal de la hipótesis de riesgo

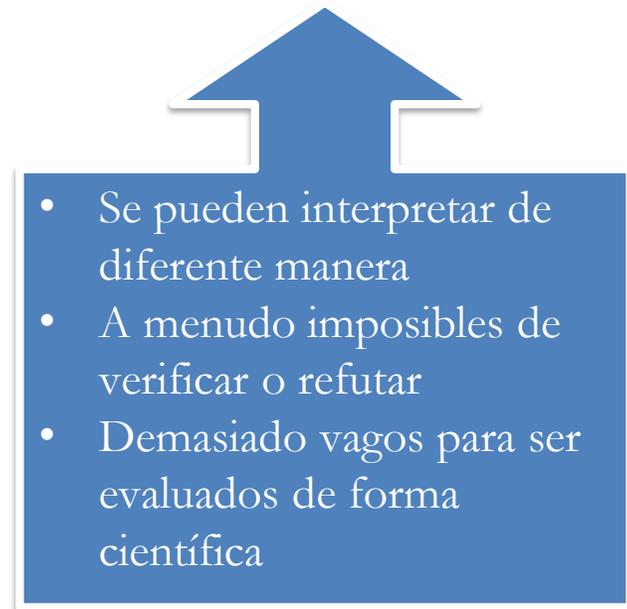
Identificar metas de protección

¿Qué son las metas de protección?

También se conocen como “Objetivos de protección” – por ejemplo:



- Definidos por regulaciones nacionales como parte de su política relevante
- Usualmente formuladas en términos legales utilizando conceptos tales como: “sustentabilidad, integridad, aceptabilidad,...”
- Pueden variar de gobierno a gobierno



Formulación del Problema:

Contexto del problema

1) Identificar metas de protección: ejemplos generales

Preguntas guía:

¿Qué queremos proteger?

¿Qué políticas surgen de la legislación nacional e internacional?

¿Qué preocupaciones debemos atender de la sociedad?

Formulación del Problema:

Contexto del problema

1) Identificar metas de protección: ejemplos generales

1. Legislación Internacional:
 - i. Conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica
 - ii. Salud humana
 - iii. Seguridad alimentaria

2. Legislación Ambiental: Ley de Bioseguridad
 - i. Conservación del medio ambiente y diversidad biológica
 - ii. Protección de la Salud humana
 - iii. Protección de la sanidad vegetal, animal y acuícola

3. Legislación de Salud humana:
 - i. La prolongación y el mejoramiento de la calidad de la vida humana

Formulación del Problema:
Contexto del problema

1) Identificar metas de protección:

Metas de protección	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

2) Determinar los puntos finales de evaluación* asociados a las metas de protección



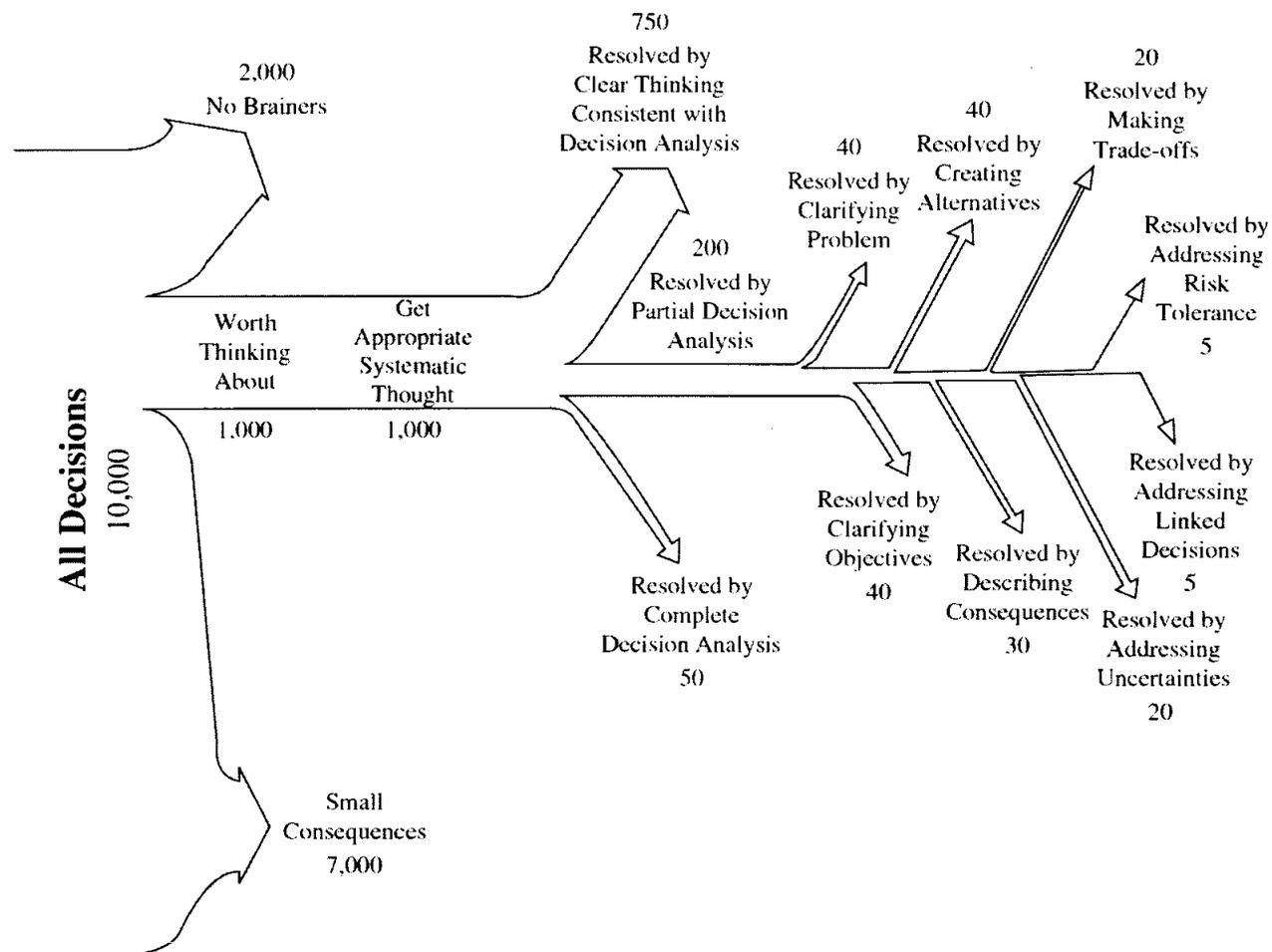
Principio del caso por caso

Metas de protección		Puntos finales de evaluación
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		



* Una expresión explícita del valor ambiental que se desea proteger, definido operativamente por una entidad ecológica y sus atributos.

3) Crear una lista de daños o efectos adversos



- A través de una lluvia de ideas, se puede crear una lista de posibles daños indeseables (derivados de varios objetivos de protección)
- Puede incluir muchos daños que pueden ser claramente ilusorios o que requieran de factores adicionales para que puedan ocurrir. A la luz de la información conocida, estos escenarios ilusorios pueden ser rápidamente descartados y no estudiados a fondo
- Además, las interacciones entre los daños pueden dar lugar a efectos **sinérgicos** (mayor que la suma), **aditivos** (incremento) o **antagónicos** (disminución).

3) Crear una lista de daños o efectos adversos

Preguntas guía: ¿Qué puede salir mal con el uso/siembra/liberación de este OGM en donde se pretende liberar?

	Puntos finales de evaluación	Posibles daños*
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

* Efecto no deseable

Estimación de la magnitud del daño

La magnitud del daño depende de la escala en que los impactos son considerados. Por lo general, los daños a los seres humanos son considerados significativos a nivel de individuo, mientras que el daño al medio ambiente es considerado significativo a nivel de poblaciones, especies, comunidades y ecosistemas.

La evaluación de la gravedad del daño puede incluir:

- ¿Cuál es la magnitud de cada posible impacto adverso: este causa una gran variación sobre las condiciones de línea de base?
- ¿Cuál es la extensión o escala espacial del posible impacto adverso?
- ¿Cuál es la ocurrencia temporal (¿Duración?, ¿Frecuencia?) del impacto?
- ¿El impacto adverso puede ser reversible? y, si es así, ¿Cuanto tiempo puede tomar?
- ¿Las especies susceptibles de daño son raras o en peligro?



4) A partir de la lista de posibles daños desarrollar hipótesis generales de riesgos

	Posibles daños	Hipótesis general de riesgo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Generar hipótesis de riesgos a partir de posibles efectos adversos

- Los daños son reafirmados por las hipótesis de riesgo, en forma de oraciones declarativas que describen *exactamente* qué podría ser dañado el punto final de evaluación.
- La **hipótesis de riesgo general** sirve para aclarar la naturaleza del riesgo, y debe claramente vincular **una acción inicial** a un **resultado potencialmente negativo o no deseado**.

Metas de protección	Hipótesis de riesgo
Salud Humana	El alto consumo maíz GM va a generar reacciones alérgicas en humanos
Diversidad genética	El cultivo de maíz GM llevará a la pérdida de diversidad genética de las razas de maíz nativo

4) A partir de la lista de posibles daños desarrollar hipótesis generales de riesgos y priorizarlas

- Inspeccionar las hipótesis de riesgo
- Identificar si algunas se pueden descartar porque los escenarios para que ocurran los daños son muy poco probables
- Identificar las hipótesis de riesgo cuyas consecuencias son poco relevantes
- Ordenar o agrupar las hipótesis de riesgo que requieran mayor consideración.

5. Para cada hipótesis de riesgo elaborar rutas al daño

- ❖ La ruta al daño es una cadena de causas y efectos que se vinculan a un causa inicial (ej. Uso, dispersión del OGM) con un daño potencial.
- ❖ En algunos casos, podría haber un mayor número de vías alternativas para vincular la causa con el posible daño, en donde la ruta al daño podría ramificarse.
- ❖ Cada paso debe ser formulado de una manera que pueda ser evaluado a la luz de los datos (hipótesis específicas de riesgo), esto es posible si hay datos disponibles o si pueden ser generados.
- ❖ Si muchos pasos tiene una posibilidad de ocurrencia baja, la ruta global tendrá una extremada posibilidad de ocurrencia debido a la combinación de varios pasos con probabilidades bajas.
- ❖ De manera alternativa, un paso podría tener casi ninguna probabilidad de ocurrencia, resultando en un probabilidad global muy baja, incluso si todos los otros pasos tiene una posibilidad razonable de ocurrencia.

Hipótesis general de riesgo: _____

Escenarios de la ruta al daño	
ACTIVIDAD	
	↓
	↓
	↓
	↓
	↓
DAÑO	

Hipótesis general de riesgo: _____

Escenarios de la ruta al daño	
ACTIVIDAD	
	↓
	↓
	↓
	↓
	↓
DAÑO	

6. Evaluar la posibilidad de ocurrencia de cada ruta al daño

El cultivo de maíz GM llevará a la **pérdida de diversidad genética de las razas de maíz nativo**

Escenarios de la ruta al daño	Identificación de la información para refutar cada escenario	Probabilidad de ocurrencia
↓		
↓		
↓		
↓		
↓		

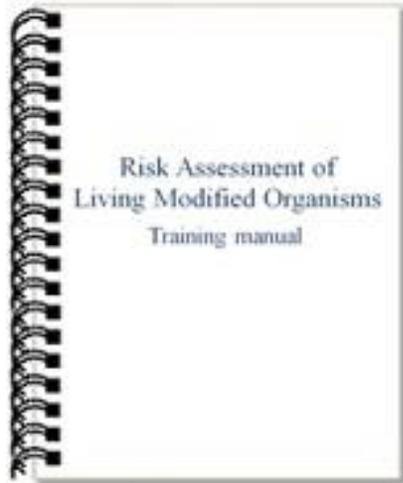
6. Evaluar la posibilidad de ocurrencia de cada ruta al daño

El cultivo de maíz GM llevará a la **pérdida de diversidad genética de las razas de maíz nativo**

Escenarios de la Ruta al daño	Cuál es la información que necesito para refutar cada paso de la ruta al daño	Posibilidad de ocurrencia
i.El maíz TS es plantado en la misma área que el maíz convencional	Sitio de liberación, cercanía a siembra de maíz convencional y/ o variedades nativas	Posible
ii.Los agricultores prefieren cultivar el maíz RI/TH que sus variedades nativas	Preferencia de los agricultores, regulación	Poco posible
iii.Con el tiempo, los agricultores dejan de cultivar ciertas/todas las variedades nativas	Prácticas de los agricultores que cultivan variedades nativas	Muy poco posible
iv.Los agricultores no almacenan o multiplican sus variedades nativas para mantener su viabilidad		Muy poco posible
v.Pérdida de variedades nativas y, por lo tanto, de diversidad genética		Magnitud del daño Consecuencia



Identificación y consideración de las incertidumbres



La incertidumbre se refiere a la falta de certeza (no cierto)

La incertidumbre es un elemento integral e inherente al análisis científico

Se tiene en cuenta durante todo el proceso de evaluación del riesgo



		CONSECUENCIAS			
		Marginales	Menores	Intermedias	Mayores
POSIBILIDAD DE OCURRENCIA	Muy posible	Bajo	Moderado	Alto	Alto
	Posible	Bajo	Bajo	Moderado	Alto
	Poco posible	Insignificante	Bajo	Moderado	Moderado
	Muy poco posible	Insignificante	Insignificante	Bajo	Moderado





¿Preguntas o comentarios?



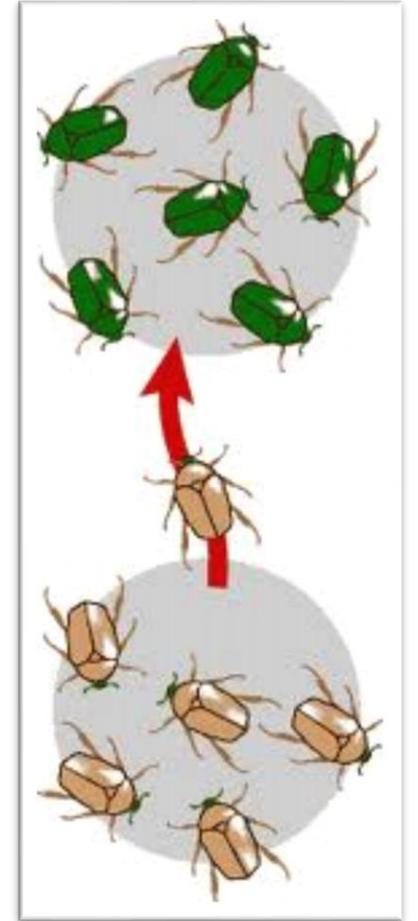
Qué es el flujo de genes

Transferencia de información genética entre organismos.

Transferencia vertical de genes: Es el proceso natural de movimiento de genes de un organismo a su progenie.

Migración: movimiento de genes (alelos de un gen) de una población a otra.

Si los genes que van de una población a otra, no se encontraban previamente en la población receptora el flujo de genes se convierte en una fuente de variación genética.

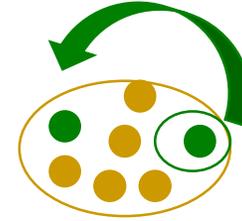


El flujo de genes tiene un papel importante en la evolución de los organismos

Flujo de genes

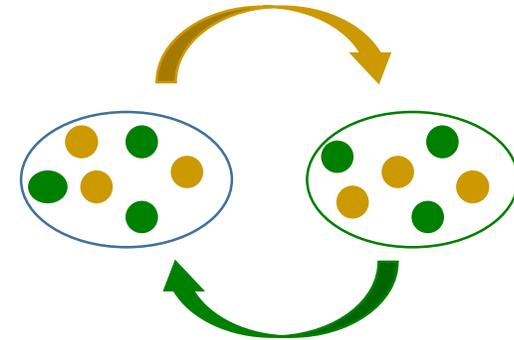
Dentro de una población

Puede introducir o re-introducir genes a una población, incrementando la variación genética de esa población.



Entre poblaciones

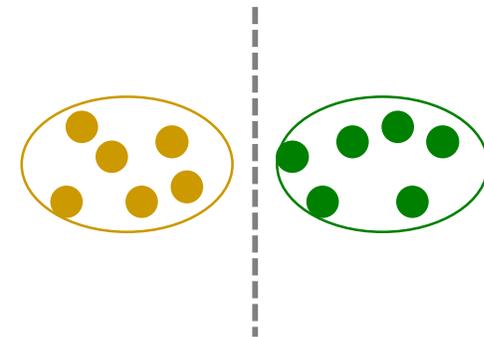
El flujo de genes entre poblaciones puede hacer que poblaciones distantes sean genéticamente similares entre sí.



Consecuencias evolutivas

Mayor flujo de genes entre poblaciones se reduce la posibilidad de que ocurra especiación.

Menor flujo de genes entre dos poblaciones es más probable que evolucione en dos especies.



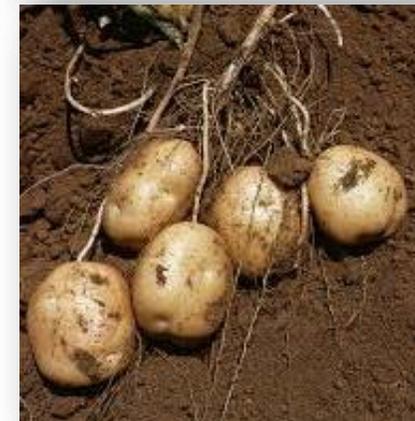
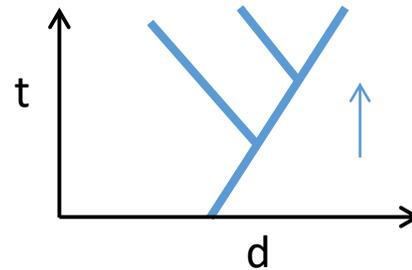
Flujo de genes

El flujo de genes o transferencia vertical de genes, en plantas incluye :

- Flujo de polen
 - (Dispersión de semillas
 - Propagación vegetativa)
- Genes ←
- Individuos

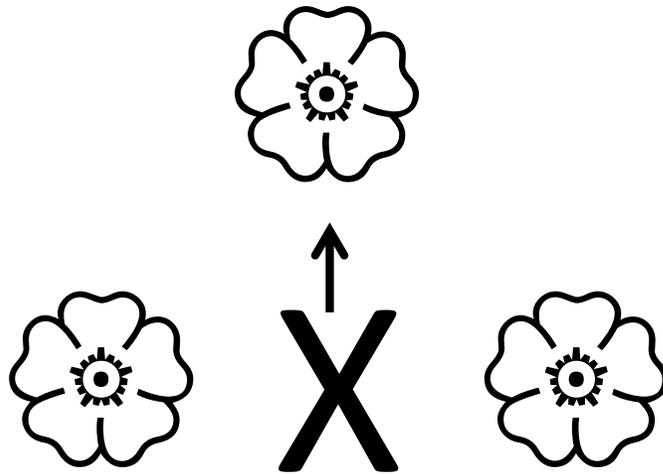
Los genes “no fluyen solos” van en grupos.

La transferencia vertical de genes –significa que el flujo de genes en el tiempo, sigue el flujo de las generaciones.



Flujo de genes

El flujo de genes en las plantas se conoce como también como **entrecruzamiento** y ocurre comúnmente a través de la polinización cruzada.



El entrecruzamiento se da a través del movimiento de polen de una planta que fertiliza a otra planta y produce descendencia fértil...

El entrecruzamiento resulta en mayor variabilidad genética en las poblaciones. Las plantas han desarrollado diferentes mecanismos para promover el flujo de genes.

Flujo de genes

Hibridación

Proceso de entrecruza entre individuos de diferentes especies (hibridación inter-específica) o entre individuos genéticamente divergentes de la misma especie (hibridación intra-específica).

Los descendientes producto de la hibridación pueden ser fértiles, parcialmente fértiles, o estériles.



No hay sobrevivencia



Introgresión

Incorporación **permanente** de alelos de una población en otra, incorporación estable de nuevos genes en una especie, subespecie, razas o en cualquier grupo de poblaciones diferenciadas.

Hibridación inter-específica

Se ha usado durante milenios por los agricultores para generar nuevas variedades o nuevas especies

Se ha usado extensivamente durante el último siglo en el mejoramiento convencional de cultivos

Es natural y es común:

25% de las plantas pueden hibridar con otras especies,

70% de las plantas pueden ser descendientes de híbridos

Modelos de selección

El efecto de la selección en la frecuencia de los alelos dependerá de

- Coeficiente de la selección $1-s$, ADECUACIÓN
- Efectos de dominancia/recesivo
- Frecuencia de los alelos ←← FLUJO DE GENES, MIGRACIÓN

	<i>AA</i>	<i>Aa</i>	<i>aa</i>		
Adecuación, <i>w</i>	1	1	1 - <i>s</i>		
Frecuencia antes de la selección	p^2	2 <i>pq</i>	q^2		
Frecuencia después de la selección	p^2	2 <i>pq</i>	$q^2(1 - s)$		
Coeficiente de selección, <i>s</i>	0.01	0.02	0.1	0.5	1.0
Frecuencia de <i>A</i> , p_1	0.50125	0.5025	0.5128	0.574	0.67

CAMBIO EN LA FRECUENCIA DEL GEN EN LA POBLACIÓN

Flujo de genes en la evaluación de riesgos

$$\text{Riesgo} = f(\text{Exposición X Peligro})$$

$$\text{Riesgo} = f(\text{Probabilidad de ocurrencia X consecuencias})$$

El flujo de genes, proceso natural, no es un daño per se.

El **flujo de genes** incide sobre el componente de **exposición**, para la estimación de riesgos.

Flujo de genes

La evaluación de riesgo requiere analizar ambos componentes, la probabilidad y las posibles consecuencias del flujo de genes

$$\text{Riesgo} = f(\text{Probabilidad de ocurrencia} \times \text{consecuencias})$$

$$\text{Riesgo} = f(\text{Exposición} \times \text{Peligro})$$

Flujo de genes »» hibridación »» introgresión

- El efecto o consecuencia del flujo de genes dependerá de:
 - Probabilidad de los alelos de fijarse en la población
 - Qué propiedades le confiere al organismo
 - Cuál es el ambiente con el que interactúa
 - Presiones de selección
 - Los efectos del resto del genoma
 - Quién “percibe” las consecuencias.

Para entender los efectos del flujo de genes se requiere de estudios o análisis “caso por caso” para evaluar su probabilidad de ocurrencia y sus consecuencias



Condiciones que tienen que ocurrir para tener flujo de genes (introgresión)

- Distribución simpátrica de las especies
- Floración simultánea
- Hibridación (polen de la planta GM fertiliza a la planta no modificada)
 - Dispersión de polen
 - Viabilidad del polen
- Sobrevivencia y reproducción de los híbridos
- Ventaja selectiva

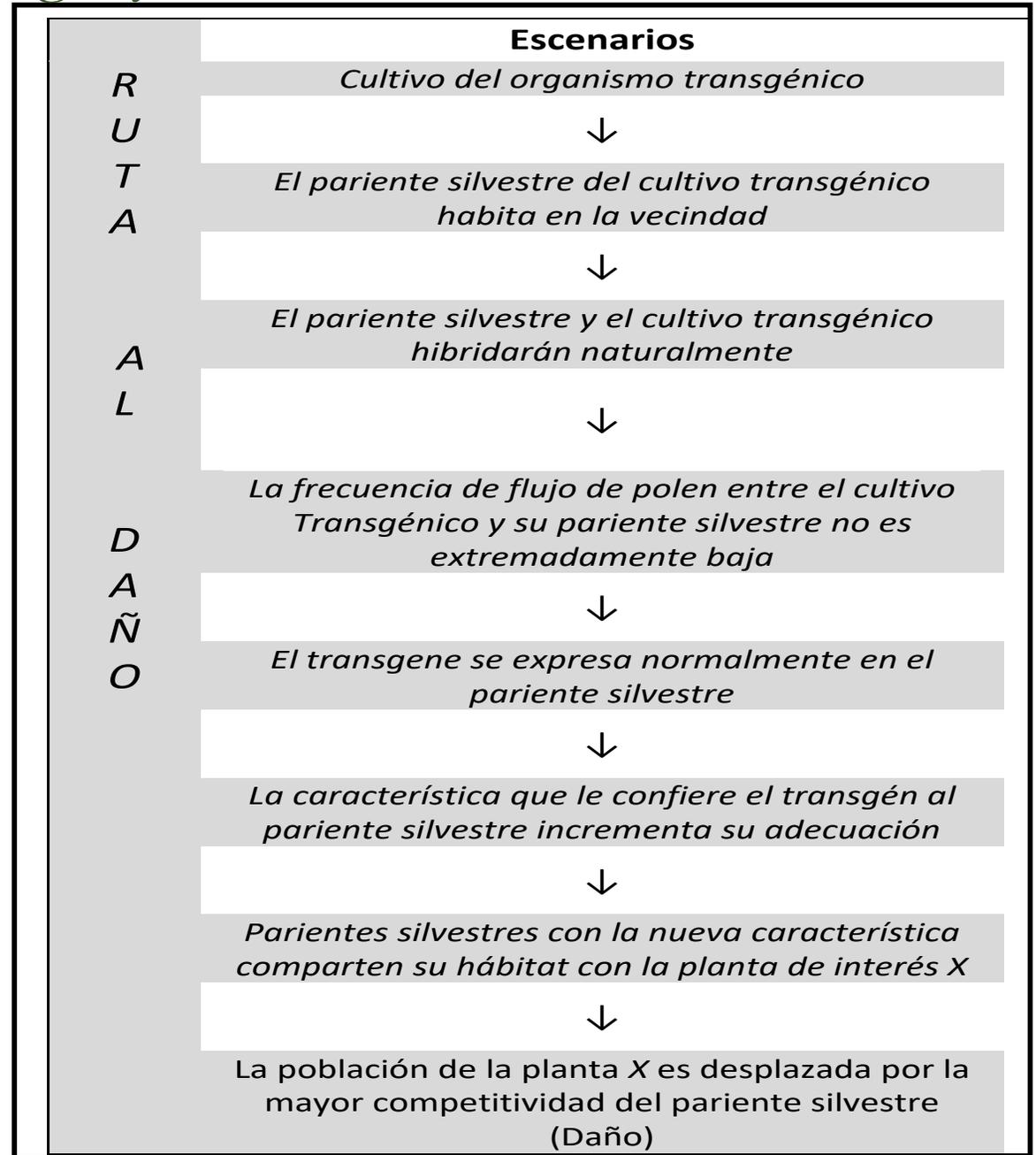
Formulación de hipótesis de riesgo y rutas al daño

Peligro

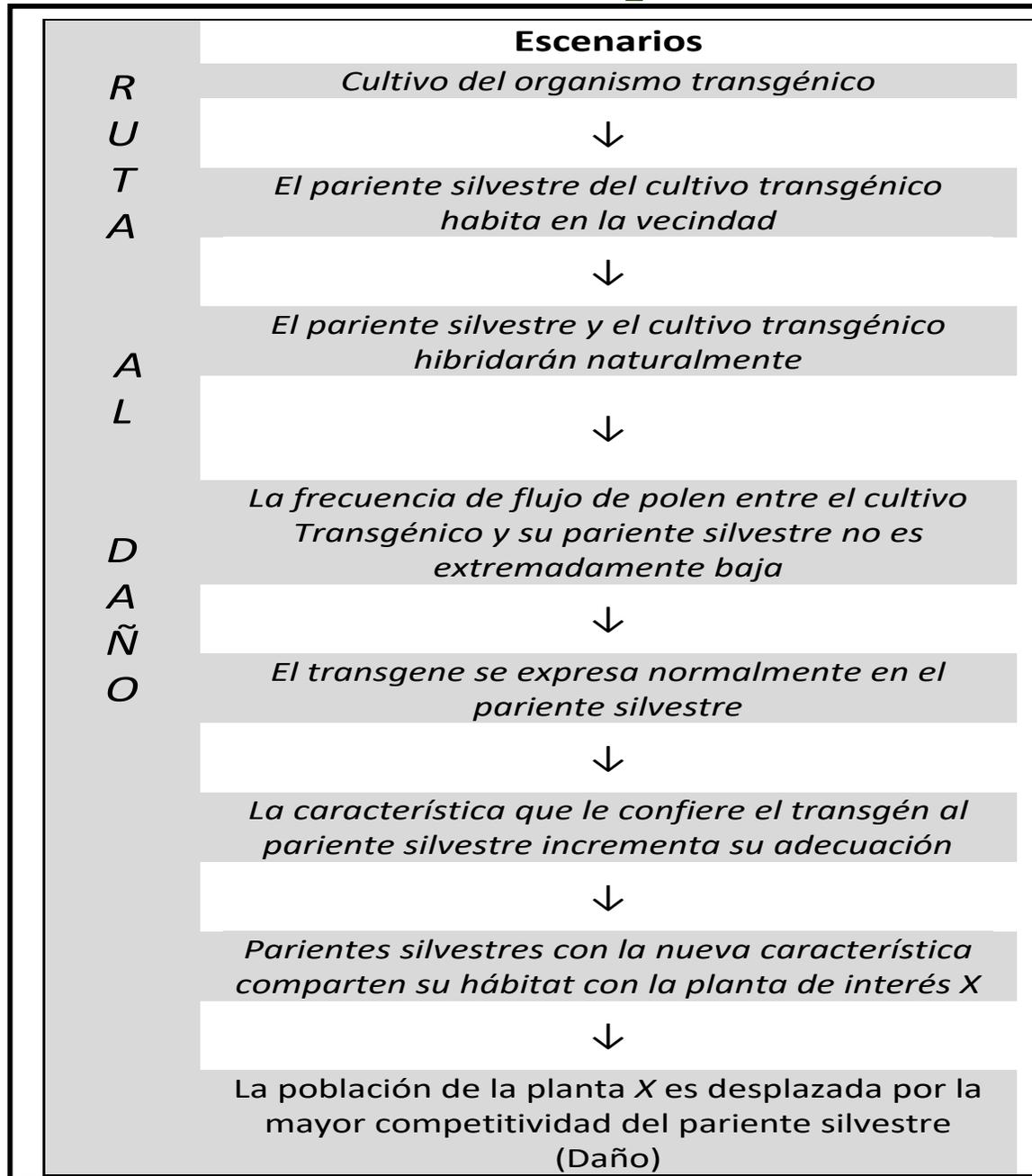
Efectos adversos por la dispersión del transgén a otras variedades o especies emparentadas a través de flujo de genes.

Hipótesis de riesgo:

El cultivo de _____ desplaza poblaciones de la planta X en ambientes “naturales”, debido al flujo de genes con especies silvestres emparentadas.



Formulación de hipótesis de riesgo y rutas al daño



Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Hipótesis de riesgo e identificación de información

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Hipótesis de riesgo e identificación de información

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Distribución de parientes silvestres

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Distribución de parientes silvestres

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Distribución de parientes silvestres

Distancia de los cultivos GM a los PS y fenología

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Distribución de parientes silvestres

Distancia de los cultivos GM a los PS y fenología

Tasa de hibridación con parientes silvestres, sobrevivencia de F1

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Distribución de parientes silvestres

Distancia de los cultivos GM a los PS y fenología

Tasa de hibridación con parientes silvestres, sobrevivencia de F1

?

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Distribución de parientes silvestres

Distancia de los cultivos GM a los PS y fenología

Tasa de hibridación con parientes silvestres, sobrevivencia de F1

?

Tablas de vida, presión de selección, qué pasa con el comparador

Hipótesis de riesgo específicas

Los parientes silvestres del cultivo transgénico no se distribuyen en las zonas de siembra del cultivo.

La frecuencia de flujo de polen entre el cultivo transgénico y su pariente silvestre es extremadamente baja

Los parientes silvestres y el cultivo transgénico no hibridarán naturalmente y/o los no híbridos serán viables

La característica conferida por el transgén no se expresa en el pariente silvestre

La característica que le confiere el transgén al pariente silvestre no le otorga mayor adecuación

Parientes silvestres con la nueva característica comparten no el hábitat con la planta de interés X

Los parientes silvestres no desplazan a la planta de interés X

Información necesaria para evaluar la ruta

Distribución de parientes silvestres

Distancia de los cultivos GM a los PS y fenología

Tasa de hibridación con parientes silvestres, sobrevivencia de F1

?

Tablas de vida, presión de selección, qué pasa con el comparador

Distribución de la planta de interés X

Capacidad competitiva de la planta de interés

The Genomic Signature of Crop-Wild Introgression in Maize

Matthew B. Hufford¹, Pesach Lubinsky², Tanja Pyhäjärvi¹, Michael T. Devengenzo¹, Norman C. Ellstrand³, Jeffrey Ross-Ibarra^{1,4*}

¹ Department of Plant Sciences, University of California Davis, Davis, California, United States of America, ² Foreign Agricultural Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., United States of America, ³ Department of Botany and Plant Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, United States of America, ⁴ Genome Center and Center for Population Biology, University of California Davis, Davis, California, United States of America

Abstract

The evolutionary significance of hybridization and subsequent introgression has long been appreciated, but evaluation of the genome-wide effects of these phenomena has only recently become possible. Crop-wild study systems represent ideal opportunities to examine evolution through hybridization. For example, maize and the conspecific wild teosinte *Zea mays* ssp. *mexicana* (hereafter, *mexicana*) are known to hybridize in the fields of highland Mexico. Despite widespread evidence of gene flow, maize and *mexicana* maintain distinct morphologies and have done so in sympatry for thousands of years. Neither the genomic extent nor the evolutionary importance of introgression between these taxa is understood. In this study we assessed patterns of genome-wide introgression based on 39,029 single nucleotide polymorphisms genotyped in 189 individuals from nine sympatric maize-*mexicana* populations and reference allopatric populations. While portions of the maize and *mexicana* genomes appeared resistant to introgression (notably near known cross-incompatibility and domestication loci), we detected widespread evidence for introgression in both directions of gene flow. Through further characterization of these genomic regions and preliminary growth chamber experiments, we found evidence suggestive of the incorporation of adaptive *mexicana* alleles into maize during its expansion to the highlands of central Mexico. In contrast, very little evidence was found for adaptive introgression from maize to *mexicana*. The methods we have applied here can be replicated widely, and such analyses have the potential to greatly inform our understanding of evolution through introgressive hybridization. Crop species, due to their exceptional genomic resources and frequent histories of spread into sympatry with relatives, should be particularly influential in these studies.

“A pesar de la evidencia de flujo de genes entre mexicana y maíz, ambos mantienen morfologías distintas y lo han mantenido así por miles de años.”
Encontramos evidencia de introgresión de *mexicana* a maíz lo que le ayudó a su expansión.

Citation: Hufford MB, Lubinsky P, Pyhäjärvi T, Devengenzo MT, Ellstrand NC, et al. (2013) The Genomic Signature of Crop-Wild Introgression in Maize. *PLoS Genet* 9(5): e1003477. doi:10.1371/journal.pgen.1003477

Editor: Rodney Mauricio, University of Georgia, United States of America

Received: August 18, 2012; **Accepted:** March 12, 2013; **Published:** May 9, 2013

This is an open-access article, free of all copyright, and may be freely reproduced, distributed, transmitted, modified, built upon, or otherwise used by anyone for any lawful purpose. The work is made available under the Creative Commons CC0 public domain dedication.

Funding: PL and NCE acknowledge support from UC MEXUS. TP received support from the Academy of Finland. This work was supported by US-NSF grant IOS-0922703 and USDA-National Institute of Food and Agriculture grant 2009-01864. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* E-mail: rossibarra@ucdavis.edu