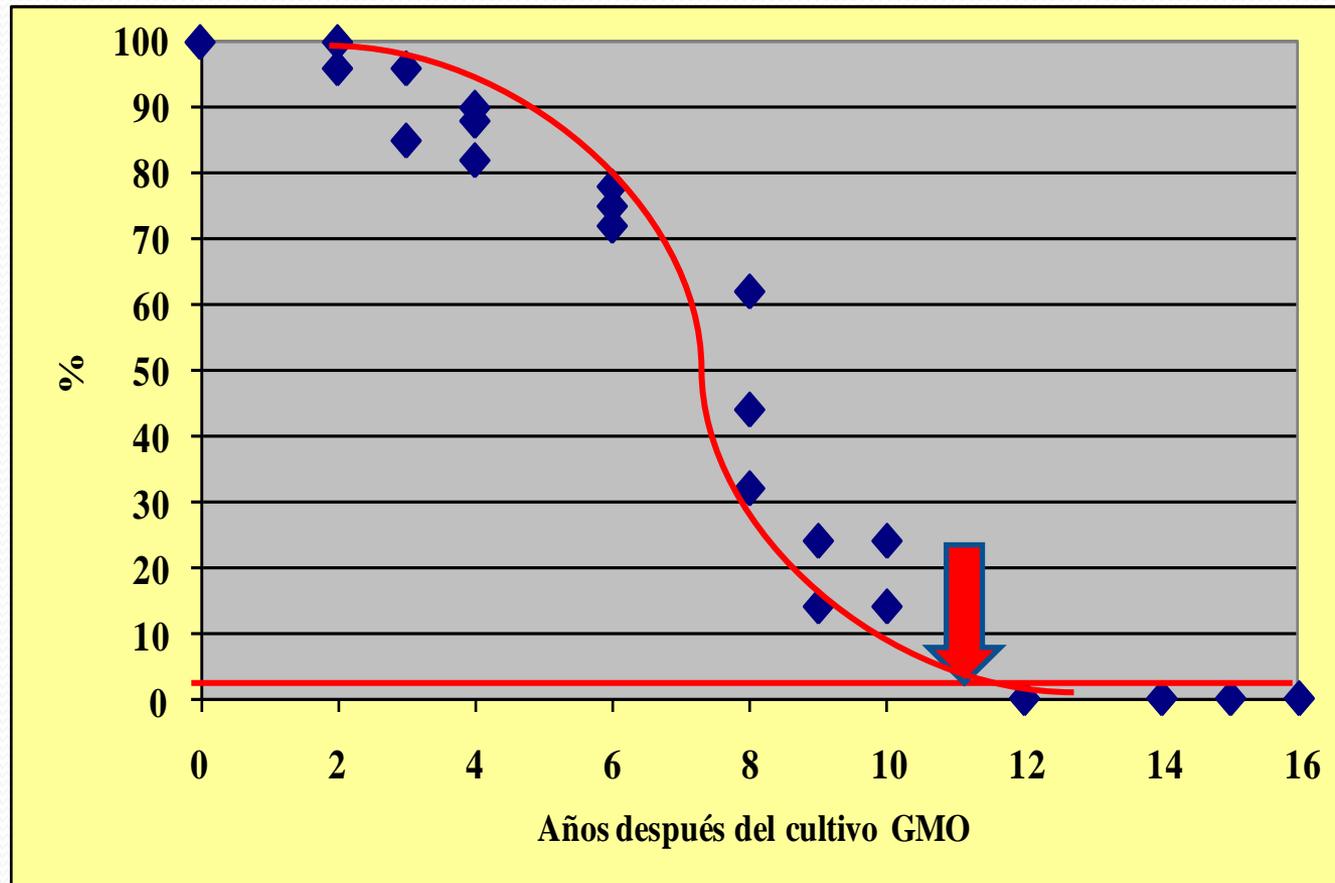


Contaminación por semillas de canola (*Brassica napus*) (Alemania)

(<http://www.gmo-safety.eu/news.tml>)



$\leq 0,9\%$
límite
de
tolerancia
en Europa

Longevidad de la semilla es de 3 a más de 15 años

(Tokomasu, S. & F. Kakiyama. 1990. *Scientia Horticulturae* 42:1-7)

CONTAMINACIÓN GÉNICA POR GAMETOFITOS

OCURRE VÍA EL POLEN

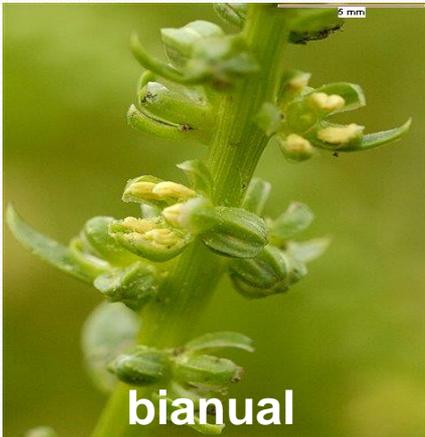
Se deben distinguir dos etapas:

- ❑ Dispersión del polen.**
- ❑ Introgresión de los genes.**

DISPERSIÓN DEL POLEN

Depende de:

- El ciclo de vida de la especie:



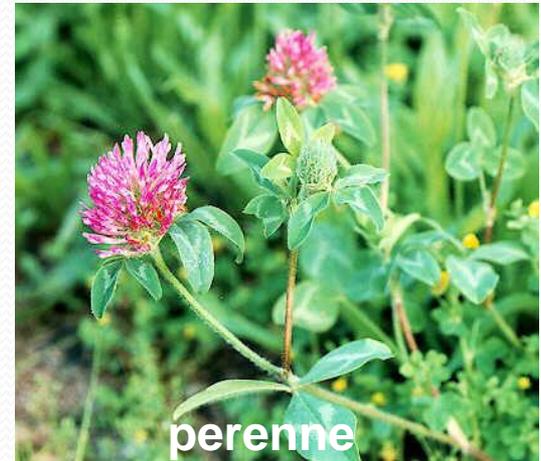
bianual

Beta vulgaris



anual

Oryza sativa



perenne

Trifolium pratense

DISPERSIÓN DEL POLEN

- La **cantidad de polen liberado** al ambiente: es una función del grado de autogamia o alogamia de la especie.

Las plantas cultivadas son básicamente alógamas

Las plantas cultivadas autógamas son muy escasas:

Asteraceae: *Lactuca sativa*: algunos cultivares

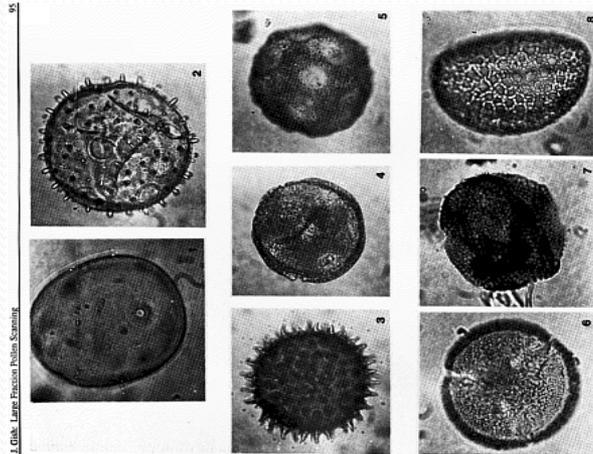
Poaceae: *Danthonia californica*, *Festuca megalura*

Fabaceae: *Arachis hypogaea*



DISPERSIÓN DEL POLEN

- Las características físicas del polen: peso, tamaño y adhesividad.



- La viabilidad y longevidad del polen: es una función de la especie y del ambiente (Bots, M. & C. Mariani. 2005. Pollen viability in the field. COGEM Report).

Maíz < 0,5 hora

Frutilla < 6 horas

Tomate < 72 horas

Canola > 72 horas

Remolacha < 24 horas

❑ La efectividad de los vectores:

Polinización entomófila

La abeja (*Apis mellifera*) tiene una **disposición a economizar energía**, lo que se traduce en:

No recorre grandes distancias alrededor de la colmena.

Recolecta polen de la misma planta o tiende a recolectar polen de las plantas inmediatamente adyacentes en una misma visita,

Se aleja de la colmena solamente si hay escasez de néctar o de polen en las cercanías.



❑ La efectividad de los vectores:

Polinización entomófila

Es muy sensible a los cambios en la presión barométrica, lo que tiende a disminuir sus recorridos con condiciones climáticas adversas.

La distancia de vuelo depende de la edad y el peso corporal

La dispersión puede alcanzar distancias menores, algunos kilómetros (< 4000 m), pero logra una buena tasa de fertilización.

❑ Polinización anemófila

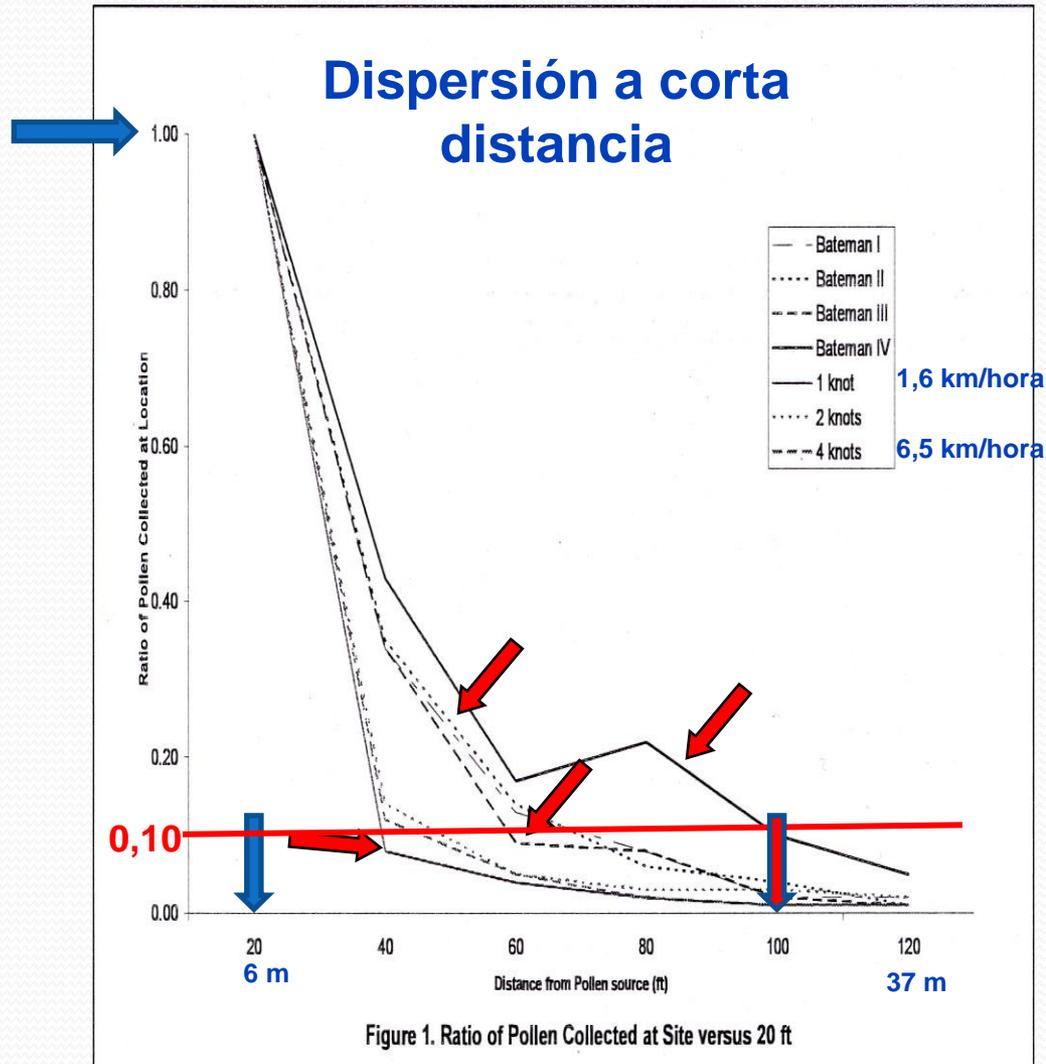
Presenta una **distribución espacial concentrada** cerca del cultivo.

La **dispersión no es igual** en todas las direcciones
(Paterniani, E. et al. 1974. *Euphytica* 23:129-134) .

La **dispersión puede alcanzar distancias muy grandes** por efecto de corrientes ascendentes, pero con proporciones muy reducidas de fertilización.

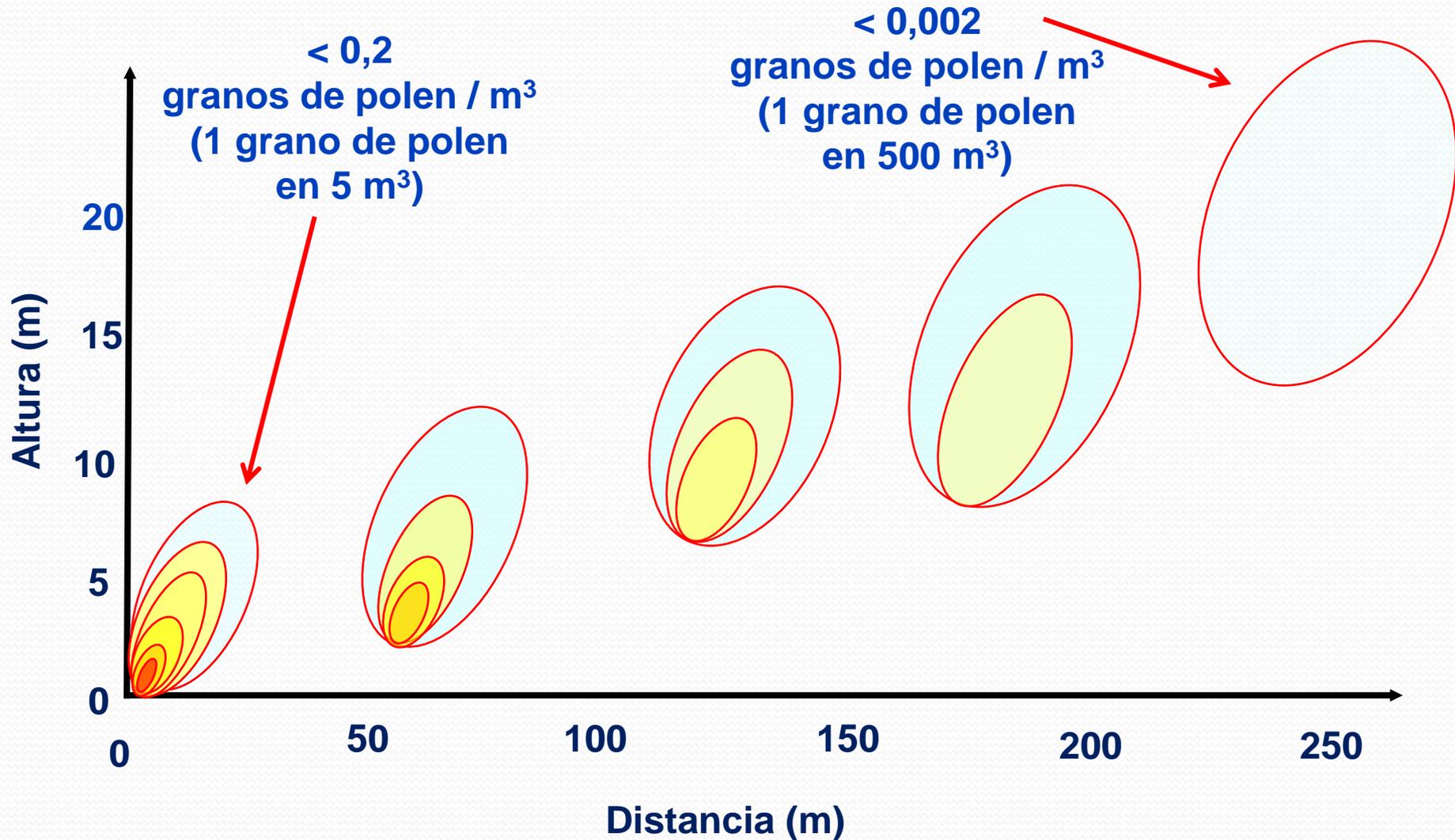
Dispersión de polen de maíz (Iowa, USA)

(Ripplinger, D.G. et al. 2004. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/20350/1/sp04ri08.pdf>)



Dispersión de la nube de polen de maíz (Alemania, 2002)

(<http://www.gmo-safety.eu/en/maize.outcrossing/147.docu.html>)



INTROGRESIÓN GÉNICA

Se refiere a la **incorporación efectiva de los genes** de una planta **en el genoma de otra**.

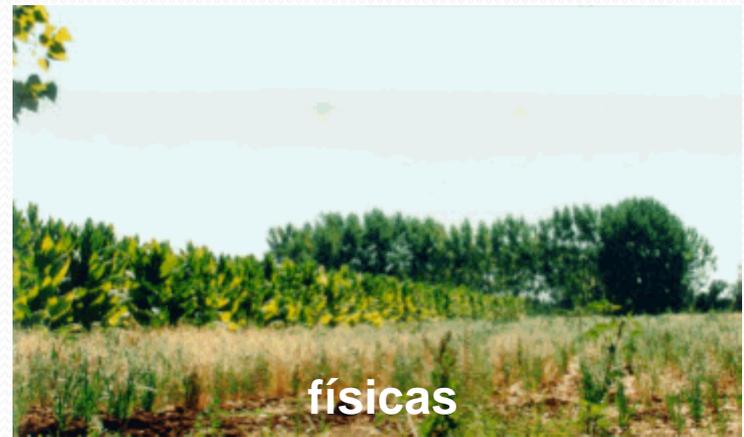
La **introgresión depende** de la **relación filogenética** entre la planta donante y la receptora, es decir, con el **tipo de acervo génico** de ambas.

INTROGRESIÓN GÉNICA AL ACERVO GÉNICO PRIMARIO

**La especie cultivada híbrida sin problema
con las especies del Acervo Génico Primario**

Depende de:

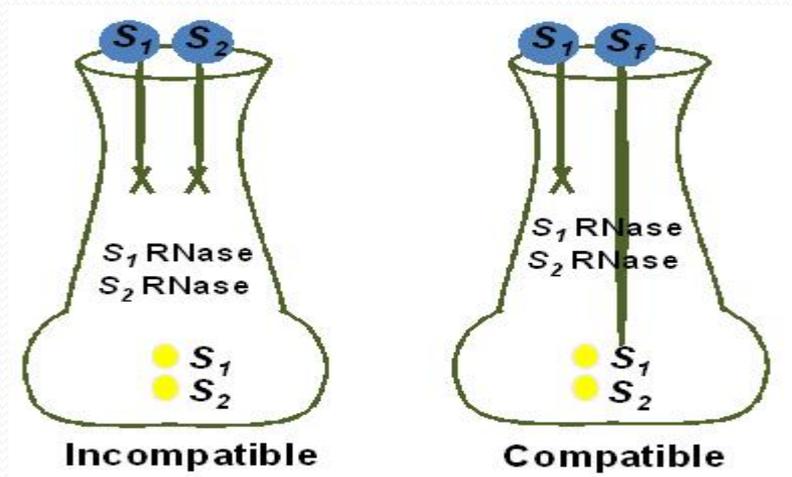
- ❑ **La sincronización** entre la **dehiscencia de la antera** de la planta polinizante y la **receptividad del estigma** de la planta polinizada: es una función del período vegetativo de la especie.
- ❑ **Barreras de aislamiento:**



Depende de:

❑ **Mecanismos de incompatibilidad polen – estilo:**

Autoincompatibilidad gametofítica: Solanaceae, Rosaceae y Papaveraceae y Polemoniaceae.



Autoincompatibilidad esporofítica: Brassicaceae, Asteraceae, Convolvulaceae, Betulaceae, Caryophyllaceae, Sterculiaceae y Polemoniaceae.

Afecta a más del 50% de las angiospermas.

INTROGRESIÓN GÉNICA EN MAÍZ (IOWA, USA)

(Ripplinger, D.G. et al. 2004. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/20350/1/sp04ri08.pdf>)

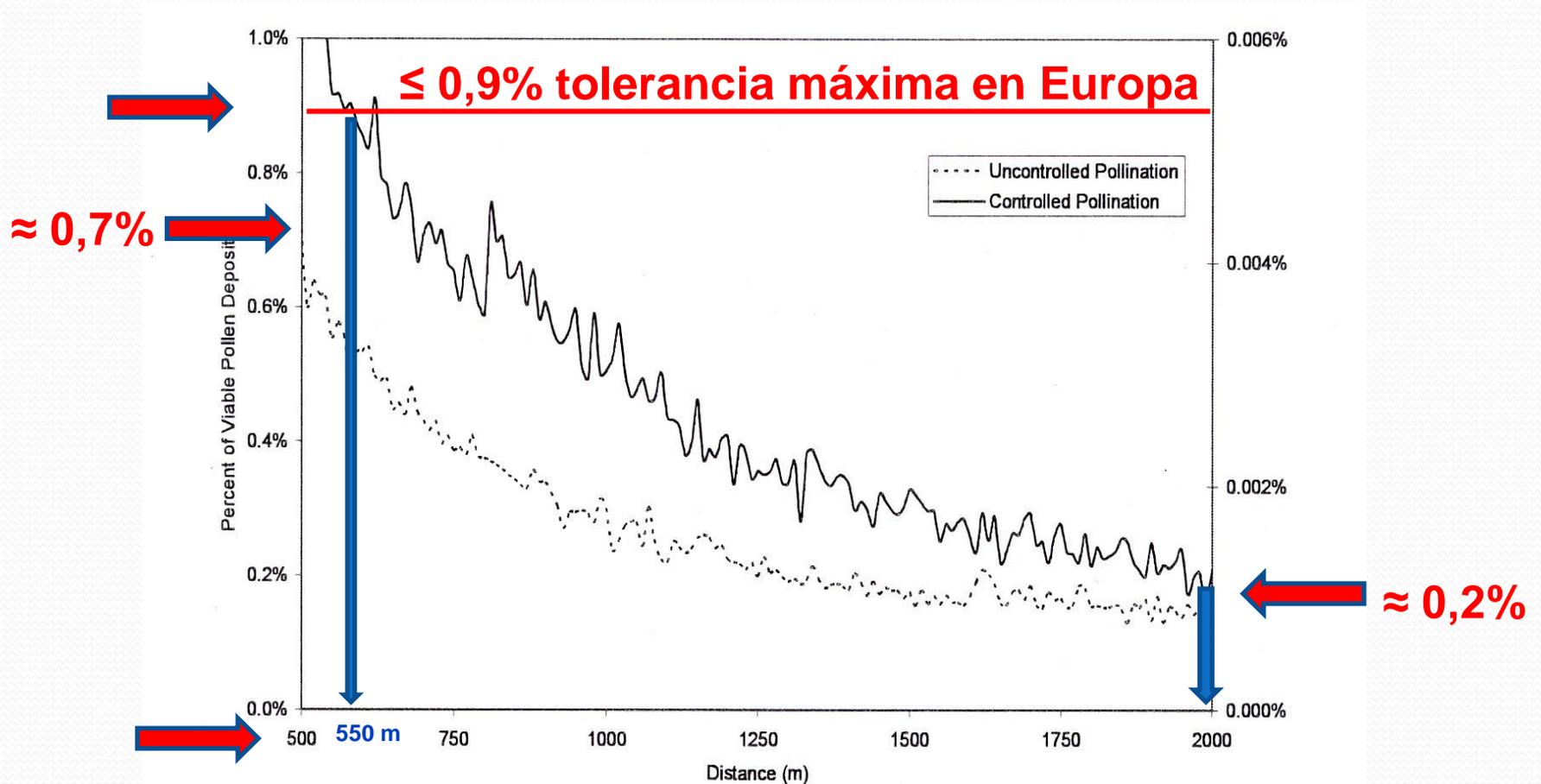
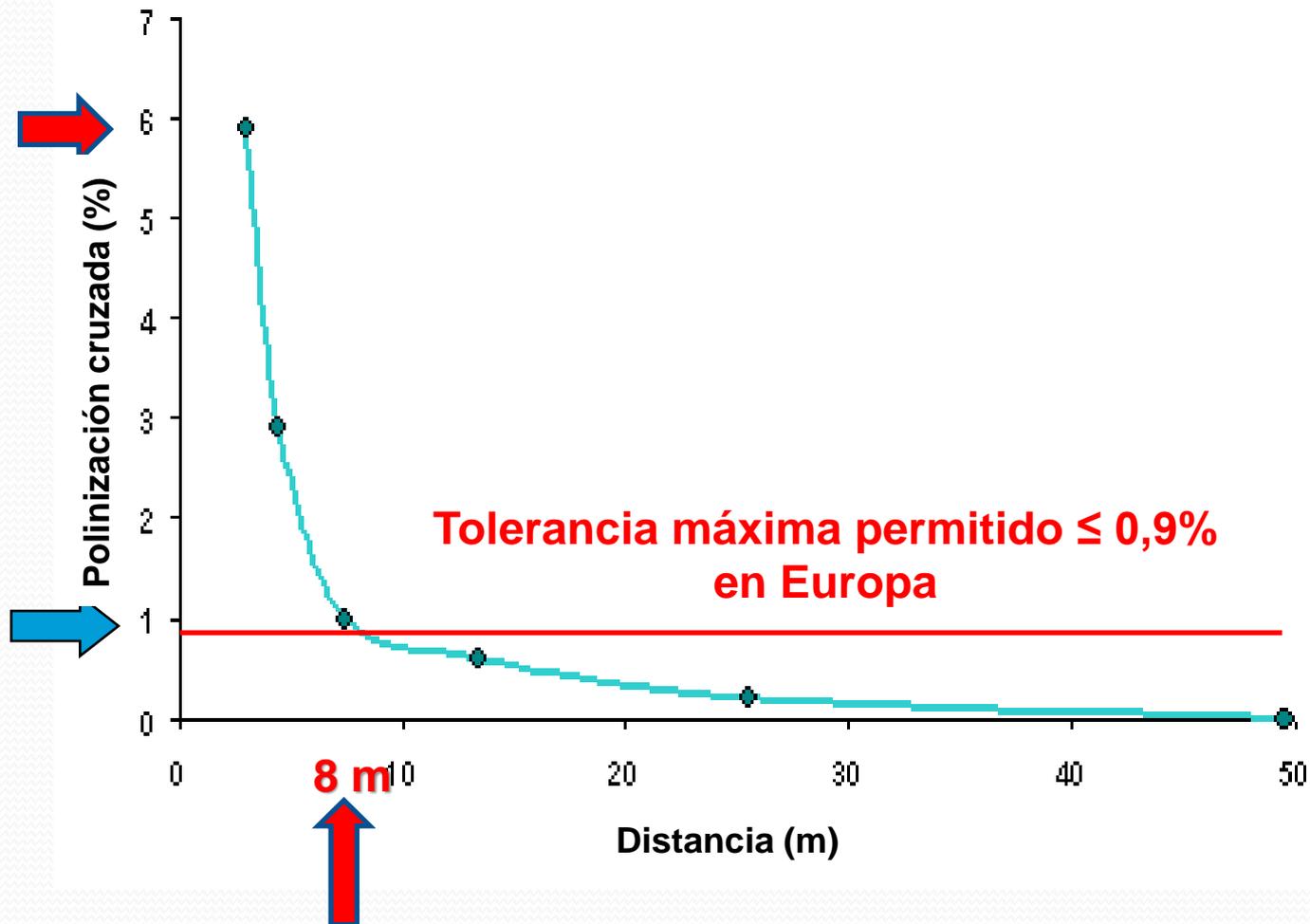


Figure 3. Long Distance Pollen Dispersal

¡Polen viable \neq Polinización lograda = Introgresión!

INTROGRESIÓN GÉNICA DE VGM EN MAÍZ TRADICIONAL (Alemania, 2008)

(http://www.gmo-safety.eu/en/safety_science/106.docu.html)



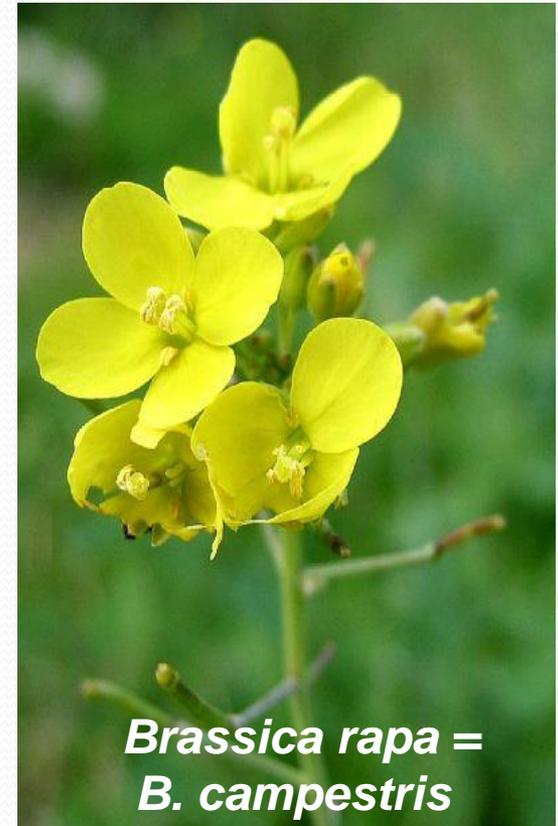
INTROGRESIÓN DE CANOLA POLACA (*Brassica rapa* 2n = 20) A YUYO (*B. rapa* = *B. campestris*)

Los híbridos son normales y fértiles.

La especie presenta un sistema de autoincompatibilidad esporofítica basada en más de 30 alelos.

La expresión interalélica es compleja, presentándose relaciones de codominancia y dominancia / recesividad (*Hatakeyama, K. et al. 1998. Genetics 149:1587-1597*)

La especie presenta, además, mecanismos de incompatibilidad unilateral entre genotipos de la misma especie (*Takada, Y. et al. 2005. Sexual Plant Reproduction 17:211-217*)



Brassica rapa =
B. campestris

INTROGRESIÓN EN *Beta vulgaris*

(Lange, W. et al. 1999. *Botanical J. Linnean Society* 130:81-96)

Taxonomía de la especie

Beta vulgaris ssp. *adanensis* $2n = 18$

Beta vulgaris ssp. *maritima* $2n = 18$

Beta vulgaris ssp. *vulgaris* $2n = 18, 27, 36$



En Chile se encuentra solamente la subespecie
Beta vulgaris* ssp. *vulgaris

que corresponde a los tipos cultivados

No se registra presente en la naturaleza

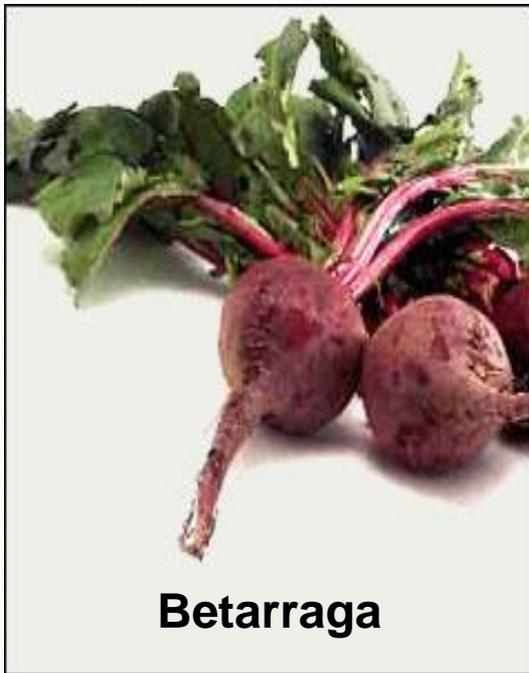
(Marticorena, C y M. Quezada. 1985. *Gayana* 42, nrs. 1 y 2;
Matthei, O. 1995. *Manual de las malezas que crecen en Chile*)

CULTONOMÍA DE *Beta vulgaris ssp. vulgaris*

(Lange, W. et al. 1999. *Botanical J. Linnean Society* 130:81-96)

Todas las subespecies y variedades de *Beta vulgaris* hibridan libremente entre sí.

**Tipo hortícola de hoja:
*B. vulgaris var. cicla***



Betarraga



Acelga

**Tipo hortícola de raíces:
*B. vulgaris var vulgaris***

CULTONOMÍA DE *Beta vulgaris ssp. vulgaris*

(Lange, W. et al. 1999. *Botanical J. Linnean Society* 130:81-96)

Tipo forrajero:
Beta vulgaris var. rapacea



Tipo sacarífero:
Beta vulgaris var. altissima

CULTONOMÍA DE *Beta vulgaris ssp. vulgaris*

(Lange, W. et al. 1999. *Botanical J. Linnean Society* 130:81-96)

Tipo swiss chard:
Beta vulgaris var. flavescens



Tipo raíz amarilla: *Beta vulgaris var. lutea*

La especie presenta un mecanismo de autoincompatibilidad gametofítico complejo basado en cuatro loci S con acciones complementarias S_a, S_b, S_c, S_d (Knudsen, L. 1977. *Hereditas* 85:227-248).

El mecanismo es similar al de los dos loci ($S - Z$) que se presenta en las Poaceae.

La especie es de polinización anemófila, las flores tienen nectarios y hay insectos polinizadores.

El polen es pequeño, levemente adhesivo y a 800 m se puede encontrar un 6% del que hay sobre el cultivo.

El polen es viable de 6 a 24 horas después de la antesis.

La variedad sacarífera es bianual y se cosecha en el estado de roseta, lo que disminuye el riesgo de contaminación génica.

El principal problema es el control de la contaminación esporifítica ocasionada por las coronas.

Hay cultivares sacaríferos que son tetraploides ($2n = 4x = 36$) que corresponden al Acervo Génico Terciario y no hibridan con los genotipos diploides ($2n = 18$).



Las plantas tetraploides producen un 66% del polen que las diploides, el gránulo es de mayor tamaño, requiere menos humedad para su liberación de la antera y su concentración tiende a incrementarse más lentamente en días de alta humedad y poca irradiación solar (Scott, R. & P.C. Longden. 1970. *Annals of Applied Biology* 66: 129-135).

INTROGRESIÓN EN PAPA (*Solanum tuberosum*)

La introgresión génica de un cultivar genéticamente modificado a cultivares nativos o tradicionales **es de una ocurrencia altamente improbable** (*Rao, C.K. 2008. Pollination and reproductive behaviour of crop plants*).

El **polen** de la papa es **pesado, adhesivo** y no se dispersa a distancias demasiado grandes aún cuando sea arrastrado por el viento.

Diversos **insectos visitan las flores de *Solanum***, pero pueden coleccionar nectar **sin tocar las anteras o estigmas** debido a la estructura plana y abierta de los pétalos.



INTROGRESIÓN EN PAPA (*Solanum tuberosum*)

Finalmente, hay que recordar que la especie se propaga vegetativamente por tubérculos en la naturaleza y el cultivo, ya que la semilla botánica carece del suficiente vigor para germinar en forma espontánea en suelos que no estén altamente disturbados.

INTROGRESIÓN DE FRUTILLA CULTIVADA A FRUTILLA SILVESTRE (*Fragaria chiloensis*)

La frutilla cultivada (*Fragaria x annassa* $2n = 8x = 56$)
es un híbrido interespecífico espontáneo entre
F. chiloensis ($2n = 8x = 56$) y *F. virginiana* ($2n = 8x = 56$).



Tiene un genoma
complejo
AAA'A' BBBB
Auto alo
octoploide



Son **especies dioicas** con algunos ejemplares
hermafroditas (*Germplasma resources Informatios Network, USDA, 2008*).

INTROGRESIÓN DE FRUTILLA CULTIVADA A FRUTILLA SILVESTRE (*Fragaria chiloensis*)

Las especies de *Fragaria* suelen ser polinizadas por insectos, siendo el más eficiente la *Apis melifera* (Chagnog, M., J. Ingres y D. de Oliveira. 1993. J- Econ. Entomology 86:416-420).

La frutilla cultivada hibrida con *F. chiloensis*: la fertilidad de los híbridos está fuertemente influenciada por la constitución genómica de los progenitores empleados, llegándose a producir hasta un 55,8% de formación de tálamos con aquenios (Rugenius, R. et al. 2006. Acta Horticulturae (ISHS) 725:451-456.).

La frutilla cultivada presenta **segregaciones complejas** de tipo diploide y poliploide (*Lercenteau-Kohler, E. et al. 2000. Theoretical and Applied Genetics 107:619-628*).

La **técnica del ADN recombinante** puede ser la **solución** más efectiva en plantas poliploides de herencias complejas como es la frutilla cultivada (*A.M. Husaini y M.Z. Abdin. 2008. Plant Science 174:446-455*).

La técnica del ADN recombinante **ha sido empleada** para otorgar resistencia a virus, hongos, insectos, herbicidas, stress y para mejorar calidad a la frutilla cultivada (*Qin, Y. et al.. 2008. Biotechnol Adv. 26(3):219-32*).

No hay registros de notificación, traslado, ni liberación al ambiente de frutillas cultivadas genéticamente modificadas (*Center for Environmental Risk Assessment. GM Crop Database. http://cera-gmc.org/index.gmc.org/iindex.php.action?gm.crop_database, 2011.07.07; APHIS Biotechnology <http://isb.vt.edu/search-release-data.aspx>, 2011.07.07)*)

INTROGRESIÓN GÉNICA AL ACERVO GÉNICO SECUNDARIO

**La especie cultivada hibrida con dificultad
con las especies del Acervo Génico Secundario**

CAPACIDAD DE INTROGRESIÓN DE LAS ESPECIES CULTIVADAS EN ESPECIES PARIENTES

Depende del grado de homología de los cromosomas de las dos especies.

Dos cromosomas son homólogos cuando contienen la misma secuencia linear de genes y pueden entrar en sinapsis durante la meiosis e intercambiar segmentos entre sí por entrecruzamiento.



La falta de homología se traduce en desbalances cromosomales (nulisomías o monosomías múltiples) que provocan desbalances génicos letales.

Suele haber formación de semillas viables, pero la meiosis de la planta descendiente es anormal.

La planta descendiente resulta estéril o se producen pocas semillas de muy reducida viabilidad (Stebbins, G.L. 1971. *Chromosomal evolution in higher plants*)

La completa esterilidad suele presentarse en la 2ª a 3ª generación (Fehr, W.R. 1987. *Principles of cultivar development*)

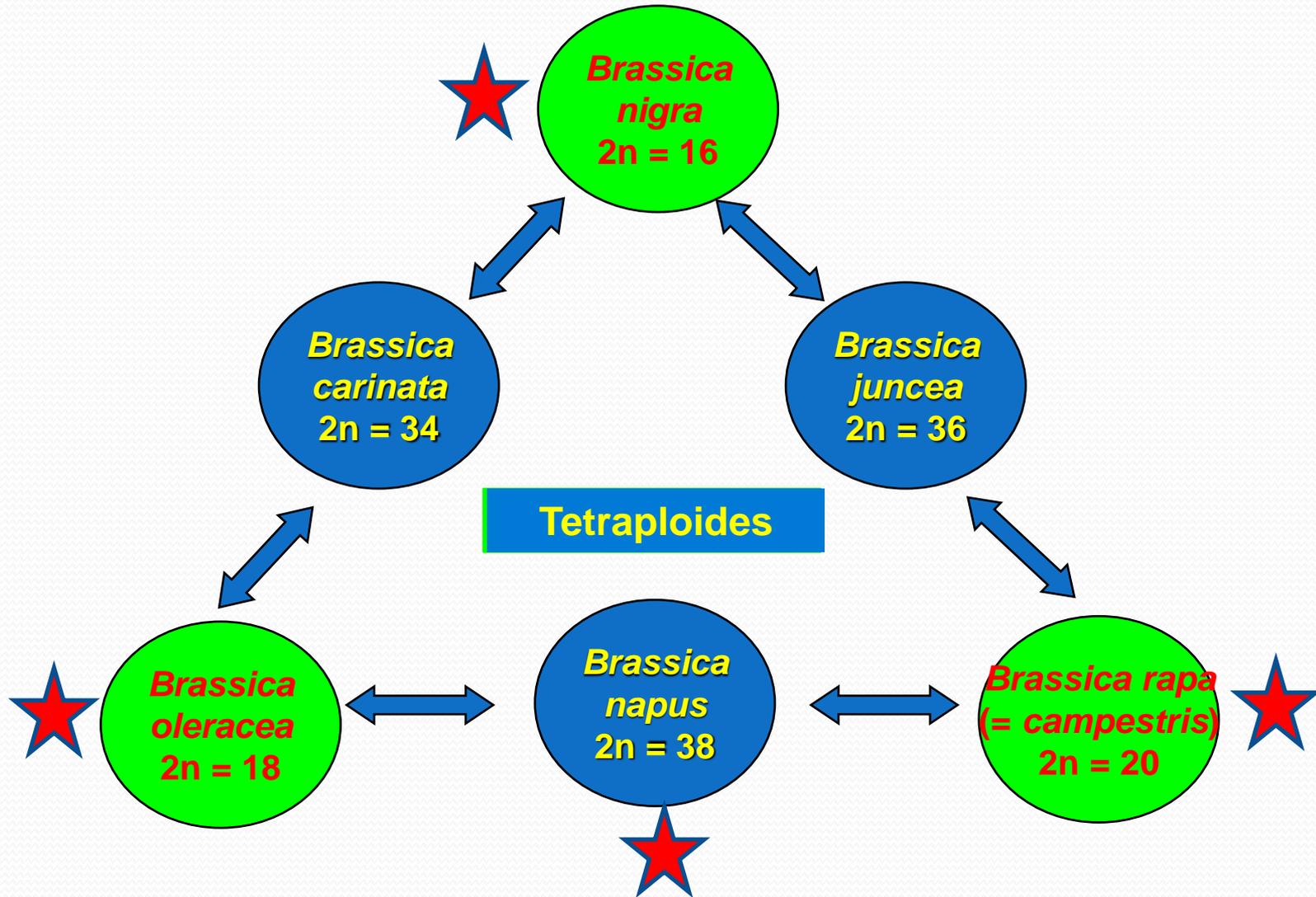
INTROGRESIÓN GÉNICA EN BRASSICACEAE

Se registran **4 especies en Chile** (*Marticorena, C. & M. Quezada. 1985. Gayana 42,1-2; Matthei, O. 1995. Manual de malezas que crecen en Chile*).

- Brassica oleraceae*
- B. napus*
- B. rapa*
- B. nigra*

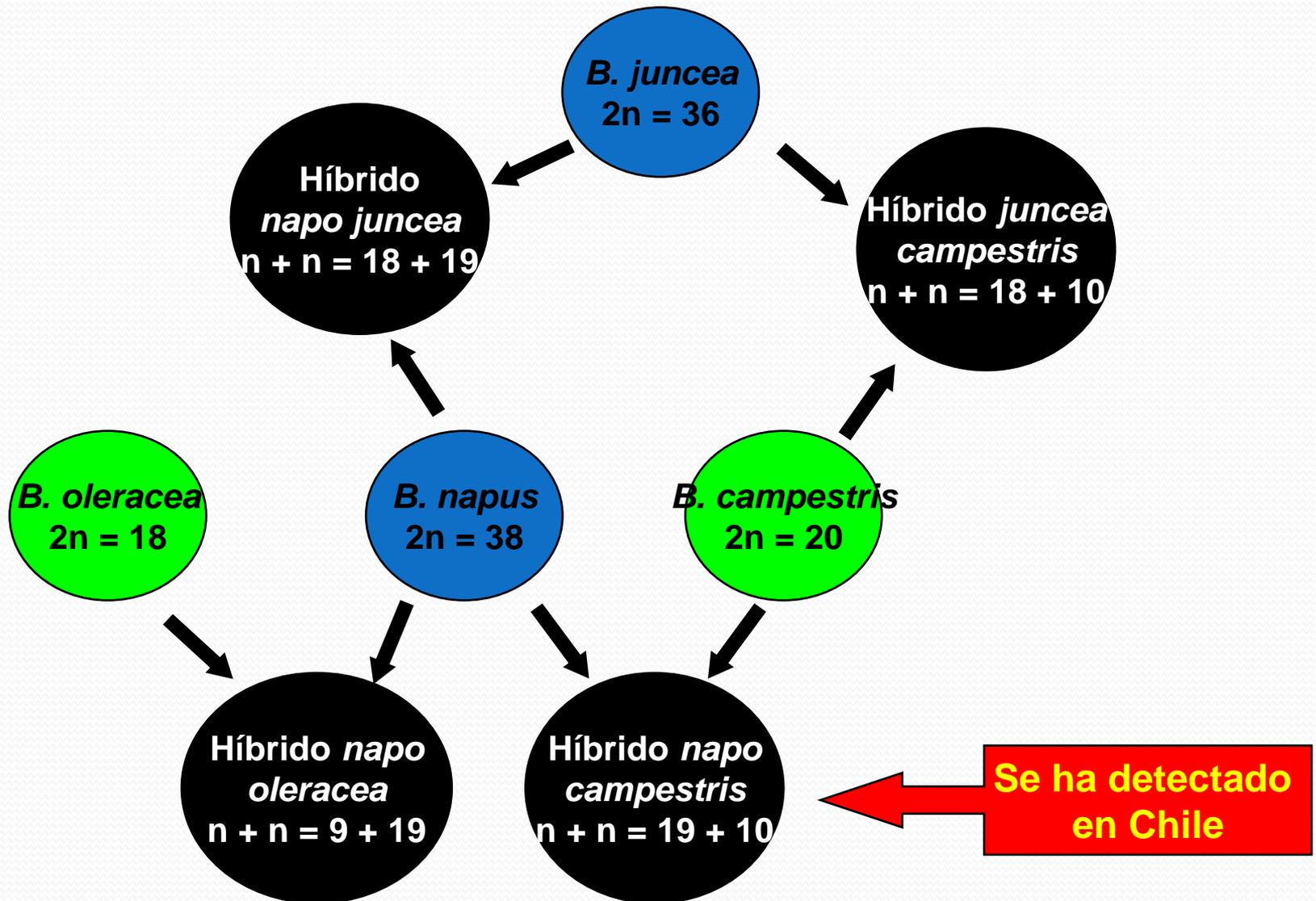
Relaciones genómicas en el género *Brassica*

(Morinaga, T. 1934. *Cytologia* 6:62-67; U, N. 1935. *Japan, J. Botany* 7:389-452)



Los híbridos entre las Brassicaceae no suelen prosperar en la Naturaleza

(Elliott, F.C. 1958. *Plant Breeding and Cytogenetics*. Pp. 168-169)



Híbrido entre *Brassica napus* x *Brassica rapa* en Chile

(Prieto, H. 2006. In SAG. Seminario Internacional sobre Organismos Genéticamente Modificados en Chile y Mercado Europeo. Pp. 111-126)

Se colectaron 1963 plantas posibles de ser híbridos entre el eventual flujo de polen de una *Brassica napus* tolerantes a glifosato y *B. rapa* en 22 campos en situación de cuarentena durante las temporadas 2001 a 2005.

El análisis de los resultados fueron:

Diploides <i>B. rapa</i>	Triploides	Tetraploides <i>B. napus</i>	Total
957	63 (3,2%)	943	1963

El 5% de las plantas triploides habían introgresado el gen *epsps* (3 plantas = 0,15%).



Estas plantas resultaron estériles, no siendo capaces de florecer y, si lo lograban, las semillas no germinaron a partir de la 3^a generación.

INTROGRESIÓN GÉNICA AL ACERVO GÉNICO TERCIARIO

**La especie cultivada no hibrida en forma natural
con las especies del Acervo Génico Terciario**

BALANCE ENDOSPÉRMICO

**El número de cromosomas en la semilla normal
se encuentra en proporción
embrión : endosperma = 2 : 3**

*(Johnston, S.A. & R.E. Hanneman. 1999. Sex. Plant Reprod. 12:71-75.
Hanneman, R.E.. 1994. Euphytica 74:19-25) .*

Índice EBN = “Endosperm Balance Number”

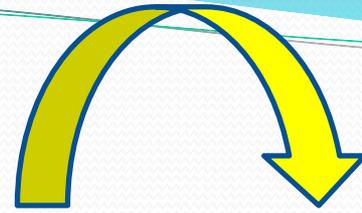
INTROGRESIÓN DE PAPA EN ESPECIES DE *Solanum* SILVESTRES

Serie	Especie	Nr. cromosomas
Cuneolata	<i>S. infundibuliforme</i>	$2n = 24$
Juglandifolia	<i>S. lycopersicoides</i>	$2n = 24$
	<i>S. rickii</i>	$2n = 24$
Etuberosa	<i>S. brevidens</i>	$2n = 24$
	<i>S. fernandezianum</i>	$2n = 24$
	<i>S. etuberosum</i>	$2n = 24$
	<i>S. looseri</i>	$2n = 24$
	<i>S. palustre</i>	$2n = 24$
	<i>S. maglia</i>	$2n = 24$
		$2n = 3x = 36$
	<i>S. tuberosum ssp. tuberosum</i> o <i>andigena</i>	$2n = 4x = 48$

(Contreras, A. Germoplasma chileno de papas *Solanum ssp*)

Solanum tuberosum

$$2n = 4x = 48$$



polinización

S. maglia

$$2n = 2x = 24$$



Semilla F1 formada:

Embrión: 24 cromosomas de *tuberosum* + 12 de *maglia* = 36

Endosperma: 24 cromosomas de *tuberosum* + 2*12 de *maglia* = 48

Índice EBN embrión : endosperma = 3 : 4

El valor EBN no está en relación = 2 : 3

Se produce un desbalance endospérmico que ocasiona el colapso del endosperma, lo que no permite la formación de la semilla.

HIBRIDACIÓN CON *S. maglia* triploide $2n = 3x = 36$

**Presenta desbalance cromosomal
Sus genotipos son estériles**

HIBRIDACIÓN PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE.

EJEMPLO EN BANANA HÍBRIDO TRIPLOIDE DE ESPECIES DE *Musa sp.*



**Banana silvestre
diploide
con semillas viables
 $2n = 22$**



Banana cultivada triploide
Se observan
las semillas colapsadas
 $2n = 3x = 33$

INTROGRESIÓN DE TOMATE A ESPECIES DE *Lycopersicon spp.*

(Rick, C.M. 1979. *Evolution of interspecific barriers in Lycopersicon*. In Proc. Conf. Broadening the Genetic Base of Crops. Wagening, The Netherlands. Pp. 283) (Rick, C.M. 1987. *Genetic resources in Lycopersicon*. In Nevis, D.I. & Jones, R.A. *Tomato Biology*. Plant Biology)



Lycopersicon esculentum
 $2n = 24$





No están presentes en Chile



L. cheesmanii *L. pimpinellifolium*
 $2n = 24$ $2n = 24, (48)$

Lycopersicon esculentum
 $2n = 24$

COMPATIBLES

ACERVO GÉNICO PRIMARIO



No están presentes en Chile



L. chmielewskii *L. hirsutum*
L. parviflorum *L. pennellii*
 $2n = 24$

L. cheesmanii *L. pimpinellifolium*

Lycopersicon esculentum
 $2n = 24$



**HAY INCOMPATIBILIDAD UNILATERAL
SI EL TOMATE ES LA PLANTA POLINIZANTE**

Martin, F.W. 1964. Genetics 50:459-469; Hardon, J.J.. 1967. Genetics 57:795-808

ACERVO GÉNICO SECUNDARIO

Están presentes en Chile

L. chilense *L. peruvianum*
 $2n = 4x = 48$

L. chmielewskii *L. hirsutum*
L. parviflorum *L. pennellii*

L. cheesmanii *L. pimpinellifolium*

Lycopersicon esculentum
 $2n = 24$

INCOMPATIBLES
HÍBRIDO NO VIABLE

ACERVO GÉNICO TERCIARIO



No están presentes en Chile

Están presentes en Chile

S. juglandifolia *S. ochrantum* *S. lycopersicoides* *S. sitiens* *S. rickii*

L. chilense *L. peruvianum*

L. chmielewskii *L. hirsutum*

L. parviflorum *L. pennellii*

L. cheesmanii *L. pimpinellifolium*

Lycopersicon esculentum



INCOMPATIBLES HÍBRIDO NO VIABLE
ESTERILIDAD Y SINAPSIS ANORMAL

ACERVO GÉNICO TERCIARIO

INTROGRESIÓN GÉNICA ENTRE ACERVOS GÉNICOS NO COMPATIBLES

Existe un mecanismo que permite superar las barreras de incompatibilidad.

ES LA FORMACIÓN DE GAMETOS NO REDUCIDOS

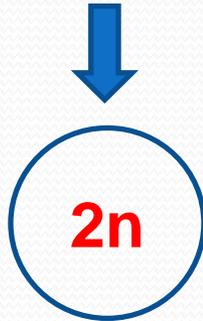
Es un mecanismo, que aún siendo raro, es el más frecuente en plantas.

(Ramsey, J. & D.W. Schemske. 2002. Annual Review of Ecology and Systematics 33: 589; Ramsey, J. 2007. Heredity 98:143-150).

Permite la formación de híbridos interespecíficos entre un progenitor diploide $2n$ polinizante y uno tetraploide $4n$ polinizado

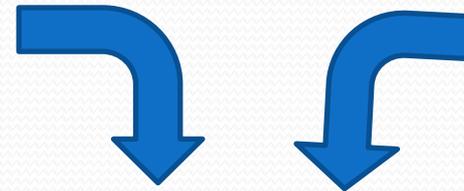
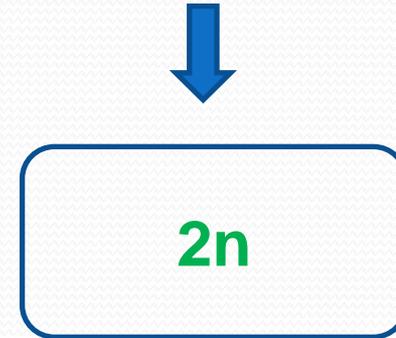
Planta polinizante
 $2n = 24$

Meiosis produce
gametos no reducidos



Planta polinizada
 $4n = 4x = 48$

Meiosis produce
gametos normales



Embrión
 $2n + 2n = 48$
Endosperma
 $2n + 2 \cdot 2n = 72$

**ES UN ALOTETRAPLOIDE FERTIL (EBN = 2 : 3)
CROMOSÓMICAMENTE BALANCEADO**

La formación de **gametos no reducidos** se produce por **mutaciones en diversos genes** que regulan la meiosis
(Brownfields, L. & C. Köhler. 2011. *J. Exp. Botany* 62:1959-1668)

En *Arabidopsis thaliana* se conoce una mutación del gen *Atps1* que produce la formación de husos cromosómicos paralelos

(De Storme, N. & D. Geelen. 2011. *Plant Physiology* 155:1403-1405)

En las Brassicaceae se produce con tasas de 0,06 a 3,29%
(Mason, A.S. et al. 2011. *BMC Plant Biology* 11:103)

Se conocen híbridos entre *Solanum phureja* ($2n = 24$) que se forman por gametos no reducidos y *S. tuberosum* ($2n = 4x = 48$)

(Lam S_L. 2011. *J. Heredity* 65:175-178)

En *Medicago sativa* se producen en una baja frecuencia en los tipos diploides

(Barcaccia, G. & F. Veronesi. *Unreduced Gametes, Gene Flow and Apomictic Features in the Medicago sativa-coerulea-falcata Complex*)

Están ampliamente distribuidos en genotipos de *Triticum turgidum* $2n = 14$

(Zhang, L-Q- et al. 2010. *Euphytica* 172:285-294).

Se ha observado la formación espontánea de plantas triploides de *Lycopersicon esculentum* $2n = 3x = 36$

(Lapidot, M et al. 1994. *Theor. Appl. Genet.* 88 914-916).



**LA FAMILIARIDAD DEL RIESGO
DE LA CONTAMINACIÓN GÉNICA
DE LOS RECURSOS GENÉTICOS
Y LOS VEGETALES
GENÉTICAMENTE MODIFICADOS**

Se han presentado las evidencias que demuestran la familiaridad del riesgo de contaminación génica de los Recursos Genéticos por los Cultivares Tradicionales, riesgo que es inherente a la biología reproductiva de las plantas en los sistemas productivos agrícolas.

El análisis de riesgo de los Cultivares Genéticamente Modificados debe evaluar el aumento de la capacidad de Contaminación que se pudiese haber producido como consecuencia de la inserción de elementos genéticos por la técnica del ADN recombinante.

No existen evidencias que sugieran que el nivel de riesgo de contaminación génica de las especies haya aumentado como consecuencia de la incorporación de elementos genéticos mediante la técnica del ADN recombinante.

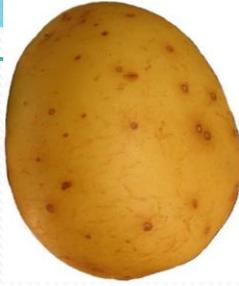
LOS VEGETALES GENÉTICAMENTE MODIFICADOS SE COMPORTAN SUSTANCIALMENTE EQUIVALENTES EN CUANTO A SU CAPACIDAD DE CONTAMINACIÓN GÉNICA COMPARADOS CON LOS MATERIALES TRADICIONALES.



**NO ES BIOLÓGICAMENTE LÓGICO
ESPERAR QUE SE PUEADA ELIMINAR
COMPLETAMENTE EL RIESGO DE
CONTAMINACIÓN GÉNICA
CUANDO SE USAN
VEGETALES GENÉTICAMENTE
MODIFICADOS.**



**LA CONTAMINACIÓN GÉNICA CON
ELEMENTOS GENÉTICAMENTE
MODIFICADOS
DEBE CONSIDERARSE
UN HECHO INELUDIBLE.**



**MUCHAS
GRACIAS**



**Presentación para proyección
No apta para impresión, contiene animaciones**