Alliance

Bioversity International

CIAT
International Center for Tropical Agriculture
Since 1967 Science to cultivate change

Introducción a los recursos fitogenéticos, o introducción a la Caja de Pandora?

D.G. Debouck

Bogotá@Cali, 22 de abril de 2021

Los antiguos griegos, pese a vivir en un ambiente acogedor, se preguntaban:

"cómo se explica que la humanidad esté afectada por tantas calamidades?"

Su mitología daba la siguiente explicación:

". . . Pandora, la primera mujer recibió de los dioses una caja en la cual Prometeo había escondido todos los males que pudieran afectar a la humanidad. Cediendo a su curiosidad, ella abrió la caja, dejando libres a todas las calamidades. Perdida en la caja, como único consuelo, sólo quedaba la esperanza. . . . "



PLAN

1. Recursos fitogenéticos: qué es?

2. Son los recursos fitogenéticos un tema importante? Por qué?

3. La performancia del gran utilizador

4. Consecuencias prácticas: la erosión genética

5. El otro frente: la extinción silenciosa

6. Cómo se forman los recursos genéticos?

7. Acciones: el manejo *in situ* y la conservación *ex situ*

8. Observaciones finales

EL TRATADO INTERNACIONAL
SOBRE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS
PARA LA ALIMENTACIÓN
Y LA AGRICULTURA



Definiciones (1):

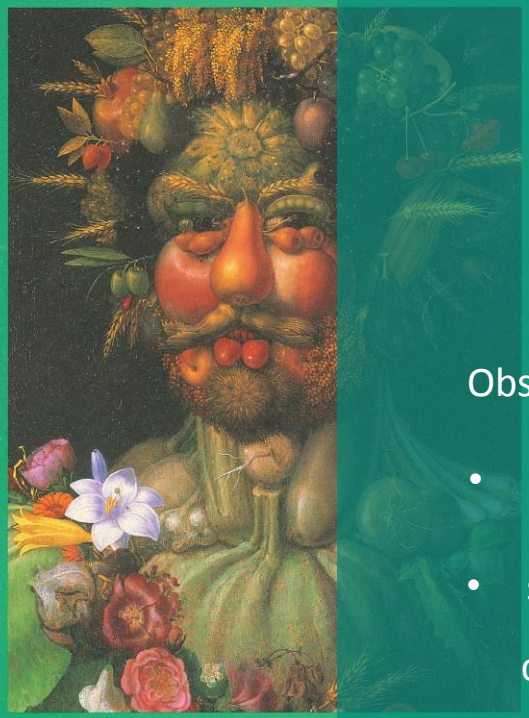
Por "recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura" se entiende cualquier material genético de origen vegetal de valor real o potencial para la alimentación y la agricultura.

Observaciones:

- no define "recurso", pero deja entender un "medio", una "ayuda", algo que puede usarse. No fija límites de espacio ni de tiempo.
- uso presente, pasado y futuro. Se trata de plantas sin más detalle. No hace distinción entre estado cultivado *versus* silvestre.
- no define "valor", aunque indica un doble propósito (a+a); valor: alimenticio!, técnico (p.ej. en mejoramiento)?, económico?, cultural?

fuente: FAO 2002

EL TRATADO INTERNACIONAL
SOBRE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS
PARA LA ALIMENTACIÓN
Y LA AGRICULTURA



Definiciones (2):

Por "material genético" se entiende cualquier material de origen vegetal, incluido el material reproductivo y de propagación vegetativa, que contiene unidades funcionales de la herencia.

Observaciones:

- incluye semillas, tejidos (*in vitro*), esquejes
- se refiere (indirectamente) a genes, o por ende a ácidos nucléicos que orientan procesos bioquímicos y finalmente biológicos
- no hace referencia a acervos genéticos; por ende va más allá de los límites de las especies de plantas consideradas

fuente: FAO 2002

Definiciones (3):

Por “material cultivado” se entiende cualquier material genético de origen vegetal sembrado a propósito con fin de aprovechamiento.

- acto fundamental y diferenciador: la siembra
- acto frecuente y diferenciador: la ‘roza-tumba-quema’ = abrir otro espacio ecológico

Por “material silvestre” se entiende cualquier material genético de origen vegetal que crece y se reproduce en condiciones naturales sin intervención humana.

- puede o no ser aprovechado o favorecido

lecturas adicionales: Cook 1919, Ford-Lloyd & Jackson 1986, Harlan 1992, Mapes & Basurto 2016, Prescott-Allen & Prescott-Allen 1983

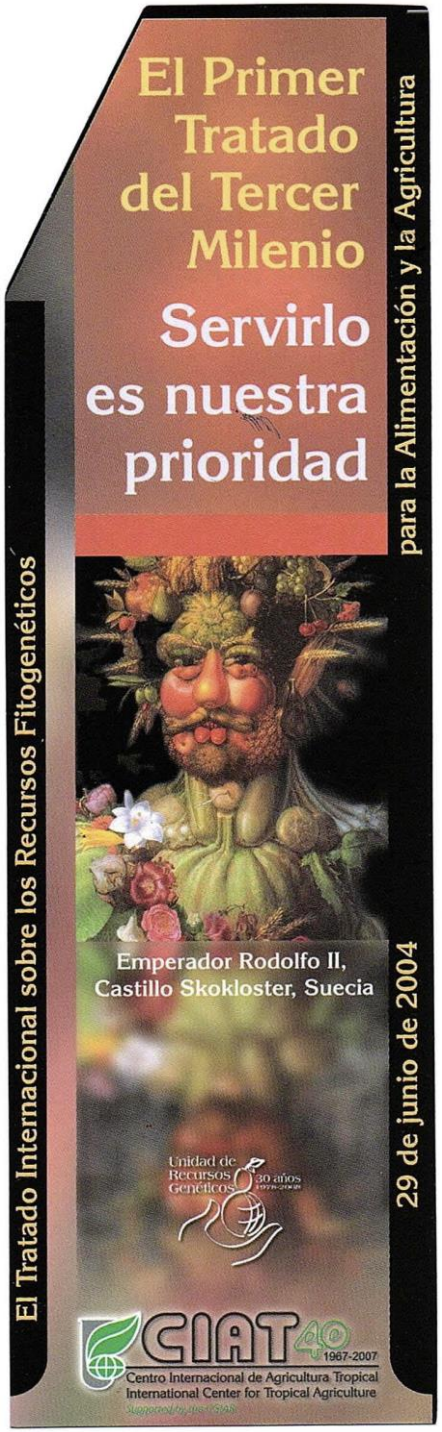
Definiciones (4):

Por "variedad nativa" se entiende cualquier material genético de origen vegetal cultivado que haya desarrollado características propias por selecciones de parte del ambiente y de la gente que lo cultiva.

"A primary genetic resource is a population of an economic species, closely adapted to the natural and human components of the specific environment in which it is grown". Bunting & Pickersgill 1996

"A variety is defined as "local" when seed from that variety has been planted in the region for at least one farmer generation (that is, for more than 30 years, or if farmers maintain that "my father used to sow it")". Louette 2000

lecturas adicionales: Brown 2000; Bunting & Pickersgill 1996, Frankel & Bennett 1970; Hawkes 1983; Louette 2000

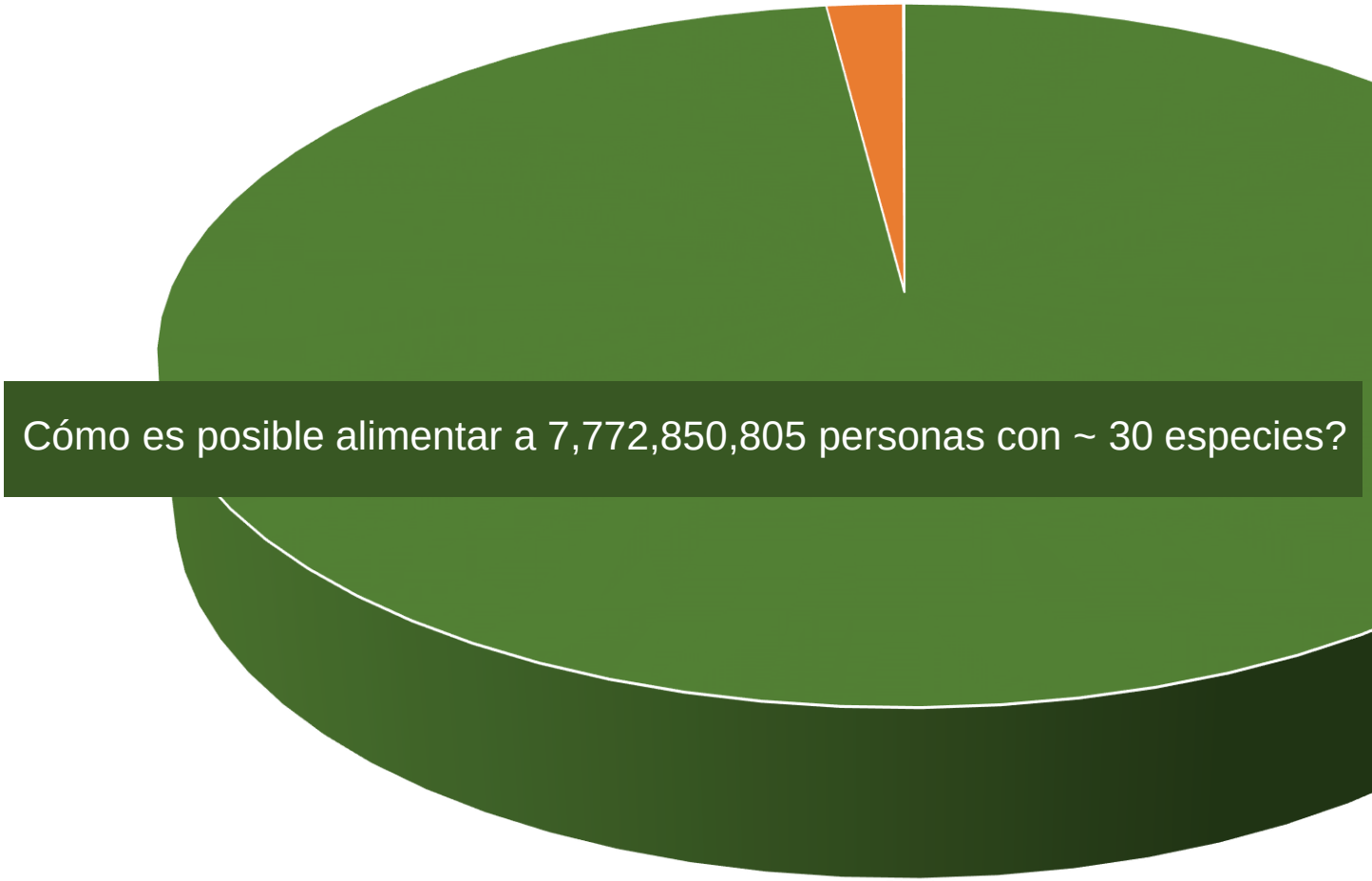


Es el tema de los rfgs importante?

- primer tratado internacional del 3er milenio
- tratado ratificado a la fecha por 148 /~192 países ONU
- tratado que entró en vigencia en junio de 2004
- 'velocidad' notable de aprobación de este tratado
  (intereses de seguridad alimentaria, económicos, geopolíticos)
- tratado que reconoce la interdependencia en rfgs, y que
- establece un mecanismo de distribución de beneficios y
- un acceso regulado según términos acordados

fuente: FAO 2002

En este momento, pobre aprovechamiento de la biodiversidad vegetal



Cómo es posible alimentar a 7,772,850,805 personas con ~ 30 especies?

1. trigo
2. maíz
3. arroz
4. cebada
5. soja
6. caña de azúcar
7. papa
8. sorgo
9. yuca
10. batata dulce
11. remolacha
12. canola
13. avena
14. mijos
15. centeno
16. fríjol
17. maní
18. banana/ plátano
19. girasol
20. arveja

369,000 especies de Angiospermas

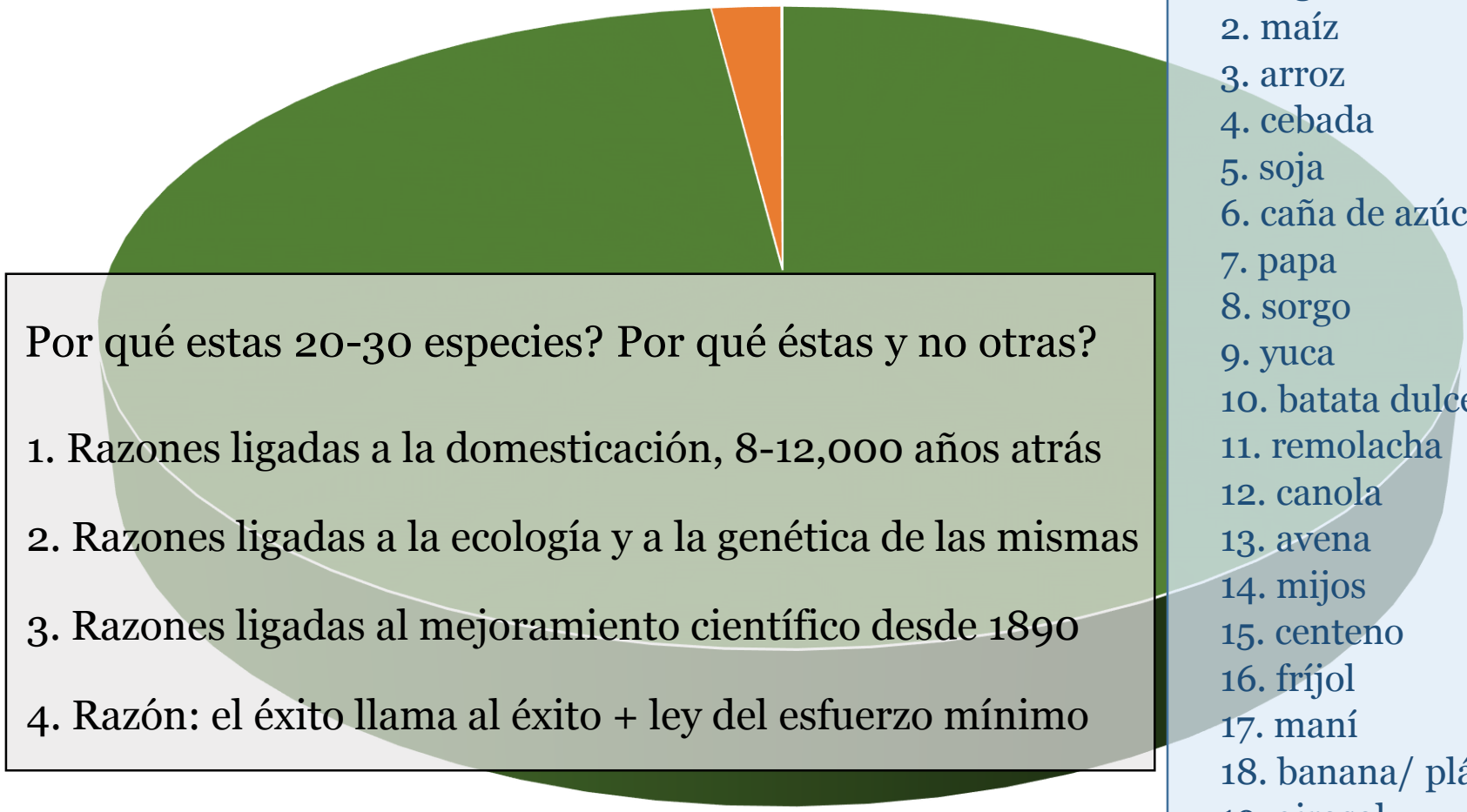
5-7,000 especies usadas para alimentos

150 especies objeto de comercio internacional

20-30 especies clave para alimentación global

fuentes: Borlaug 1983, Gepts 2006; Harlan 1992; Khoshbakht & Hammer 2008, Prescott-Allen & Prescott-Allen 1990, US Census Bureau 2021, Willis 2017, Wilson 1992

En este momento, pobre aprovechamiento de la biodiversidad vegetal



1. trigo
2. maíz
3. arroz
4. cebada
5. soja
6. caña de azúcar
7. papa
8. sorgo
9. yuca
10. batata dulce
11. remolacha
12. canola
13. avena
14. mijos
15. centeno
16. fríjol
17. maní
18. banana/ plátano
19. girasol
20. arveja

Por qué estas 20-30 especies? Por qué éstas y no otras?

1. Razones ligadas a la domesticación, 8-12,000 años atrás
2. Razones ligadas a la ecología y a la genética de las mismas
3. Razones ligadas al mejoramiento científico desde 1890
4. Razón: el éxito llama al éxito + ley del esfuerzo mínimo

369,000 especies de Angiospermas

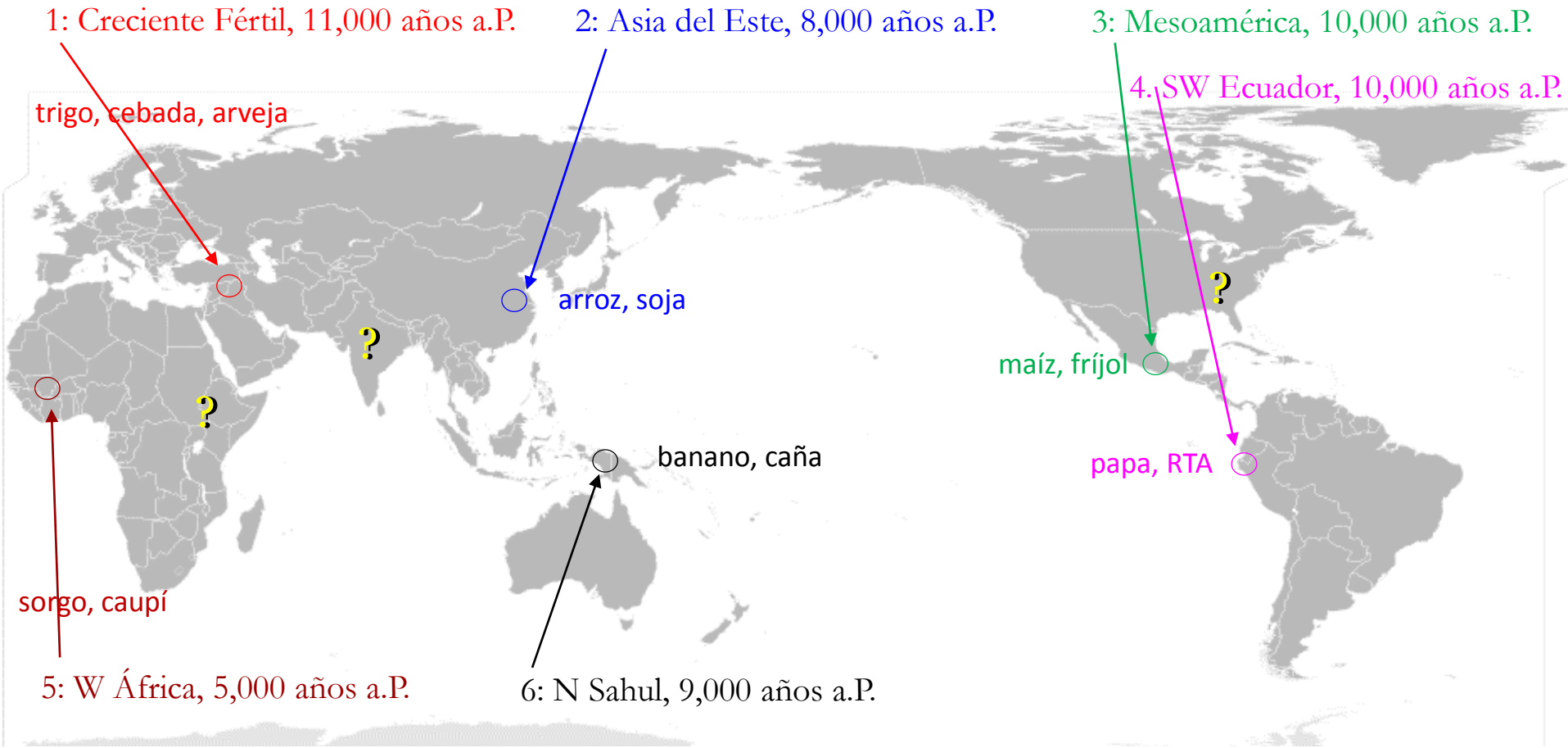
5-7,000 especies usadas para alimentos

150 especies objeto de comercio internacional

20-30 especies clave para alimentación global

fuentes: Gepts 2006; Harlan 1992; Khoshbakht & Hammer 2008, Willis 2017, Wilson 1992

Focos iniciales de domesticación de plantas, y posibles fechas



- domesticaciones independientes, no difusión por migraciones humanas (casos marcados ?)
- idea copiada con frecuencia → el núcleo inicial de plantas va a aumentar → sistema
- sistema ('headstart') por miles de años = "Centros de Origen de Plantas Cultivadas" (1926)

fuentes: Harlan 1971; Larson et al. 2014; Lebot 1999; Smith 1995; Vavilov 1926

Por qué unas pocas familias han contribuido la mayor parte de las especies cultivadas?











32,581

28,237

20,856

13,686

11,434

Otras: 411 familias, 262,206 especies

Posibles explicaciones:

1. Capacidad de responder al cambio ecológico = '*ager*'
2. Respuesta a la selección humana (cfr. parte cosechada)
3. Valor nutricional *versus* volumen y/o peso
4. Posibilidad de almacenar y/o transportar

Asteraceae Orchidaceae Fabaceae Rubiaceae Poaceae otras

fuentes: Hanson 2015, Harlan 1992, Spengler 2020, Willis 2017

PLAN

1. Recursos fitogenéticos: qué es?

2. Son los recursos fitogenéticos un tema importante? Por qué?

3. La performancia del gran utilizador

4. Consecuencias prácticas: la erosión genética

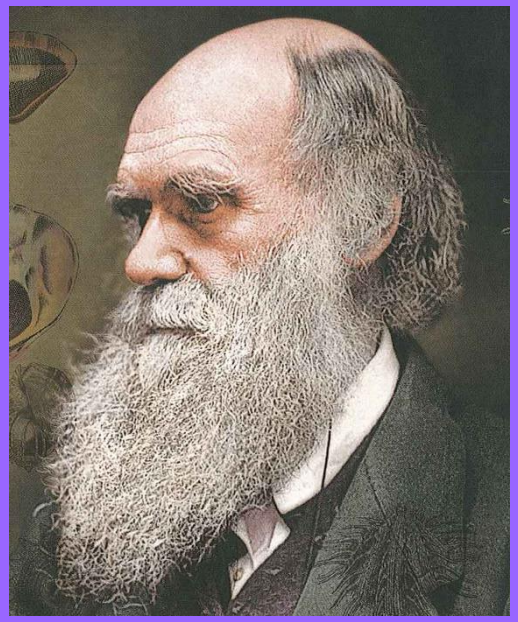
5. El otro frente: la extinción silenciosa

6. Cómo se forman los recursos genéticos?

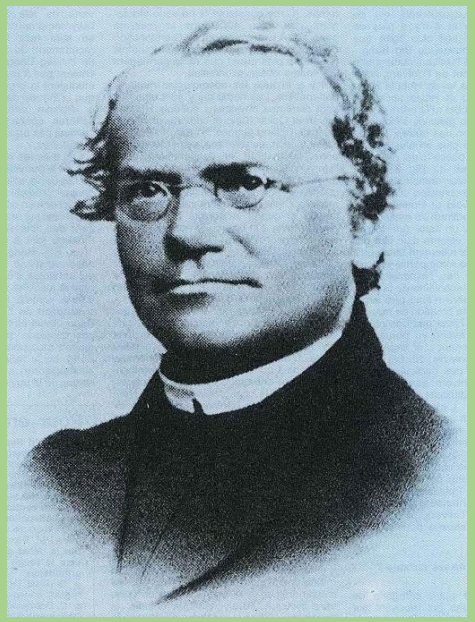
7. Acciones: el manejo *in situ* y la conservación *ex situ*

8. Observaciones finales

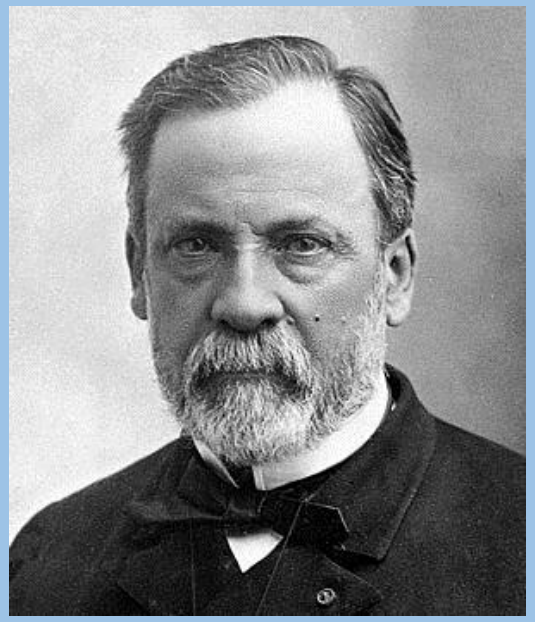
Tres forjadores de conocimientos e impulsores de disciplinas nuevas



Charles Darwin
(1809-1882)



Gregor Mendel
(1822-1884)



Louis Pasteur
(1822-1895)

- formulación de la teoría de la evolución (1859):
  la selección humana puede remplazar la selección natural y favorecer los fenotipos más favorables
- formulación de las leyes de la herencia (1865):
  independientemente que un carácter sea dominante o recesivo, es posible combinarlos
- elaboración de los fundamentos de la microbiología:
  existen microorganismos capaces de reproducirse, que no se ven, beneficiosos o contrarios

fuentes: Darwin 1868, Mendel 1865

Innovaciones que permitieron el progreso de la producción vegetal

1493: inicio del gran intercambio biótico: introducción del maíz y de la papa al Viejo Mundo

1790-1830: perfeccionamiento de herramientas agrícolas en Norteamérica y Europa

1840: Justus von Liebig publica: “Organic chemistry in its application to agriculture and physiology”

1900: de Vries, Correns y von Tschermak independientemente re-descubren las leyes de Mendel

1908: el proceso Haber-Bosch (N2 + H2 = NH3 + H) obtiene una patente → fertilizantes nitrogenados

1923: Henry Wallace y Hi-Bred lanzan el primer híbrido de maíz en EE. UU.

1934: la variedad de papa *Sandnudel* sale en Alemania; incorpora genes de *S. demissum* contra tizón

1970: Norman Borlaug obtiene el Nobel por su trigo corto ← línea *Norin 10* de Japón

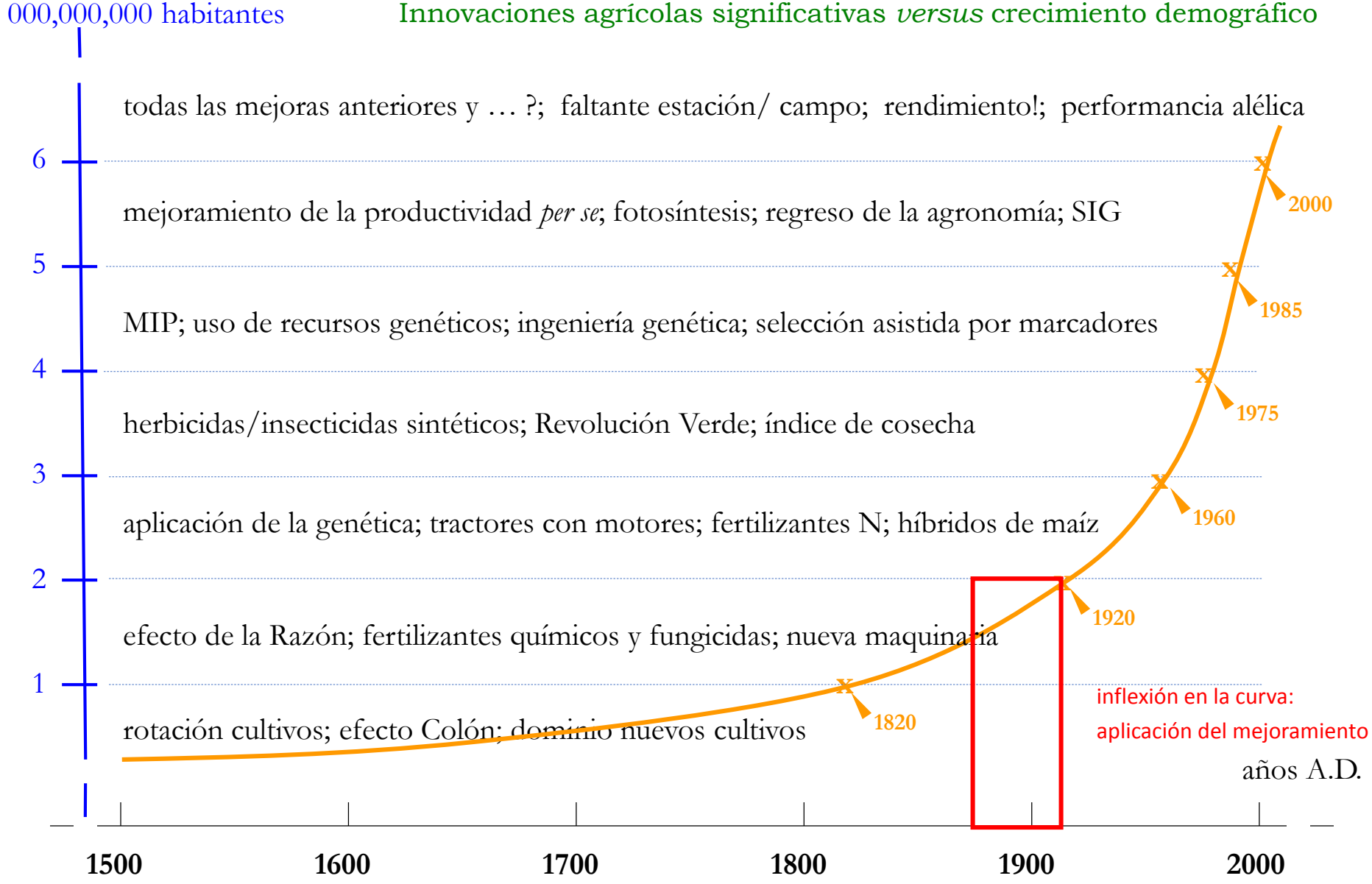
1983: primeras aplicaciones de selección asistida por marcadores (RFLPs) en maíz y tomate

2000: publicación del genoma de *Arabidopsis thaliana* (130 mi pb, 25,000 genes)

2020: E Charpentier y J Doudna obtienen el Nobel de química por la tecnología CRISPR-Cas9

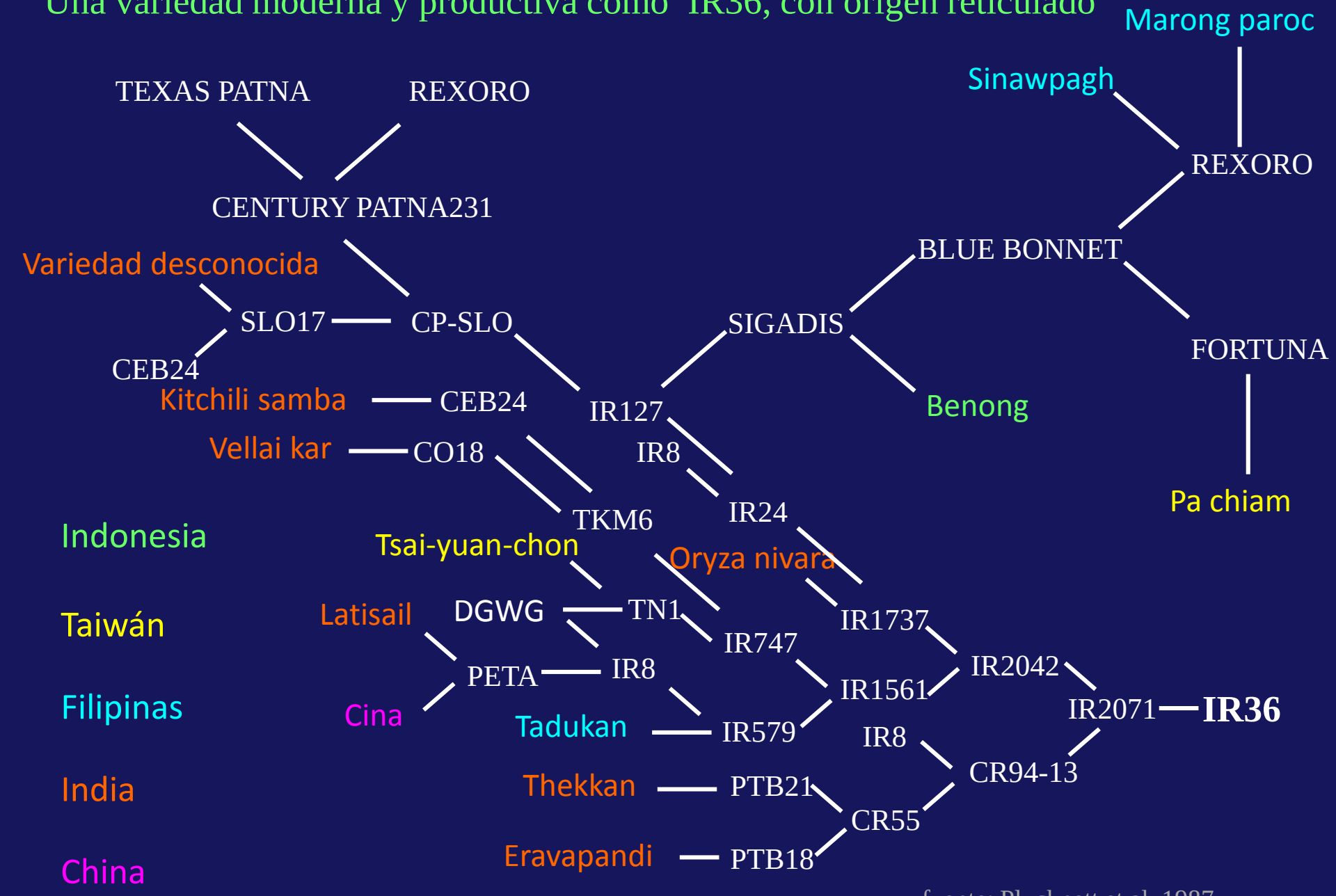
fuentes: Beckmann & Soler 1986, Borlaug 1983, Butzer 1995, Evans 1998, Hickey et al. 2019, Leigh 2004, Lurquin 2002, McClelland 1997, Mukherjee 2016, Olmstead & Rhode 2008, Pringle 2003, Ross 1986, Wilkes 1983

Impacto del uso de los rfgs



fuentes: Bonjean & Picard 1990; Evans 1998; Jacob 1944; Leigh 2004; McClelland 1997; Olmstead & Rhode 2008

Una variedad moderna y productiva como IR36, con origen reticulado



fuente: Plucknett et al. 1987

Contribución de las especies silvestres a los tomates comerciales

Especie	Característica	Fuente
esculentum v. *cerasiforme*	resistencia a pudriciones radiculares	Esquinas-Alcazar 1981
pimpinellifolium	tolerancia a la salinidad	Bolarín et al. 1991
cheesmanii	ausencia de articulación pedicelar	Rick 1979
cheesmanii	epidermis de fruta más gruesa	Prescott-Allen (2) 1983
hirsutum	resistencia a minadores de hojas	Rick 1982
pennellii	tolerancia a sequía	Rick 1982
chmielewskii	contenido alto en sólidos solubles	Rick 1974
parviflorum	liberación tardía del polen	Rick 1982
peruvianum	resistencia a *Fusarium oxysporum*	Laterrot 1989
chilense	resistencia al Curly top virus	Esquinas-Alcazar 1981

foto: Debouck 2019

PLAN

1. Recursos fitogenéticos: qué es?

2. Son los recursos fitogenéticos un tema importante? Por qué?

3. La performancia del gran utilizador

4. Consecuencias prácticas: la erosión genética

5. El otro frente: la extinción silenciosa

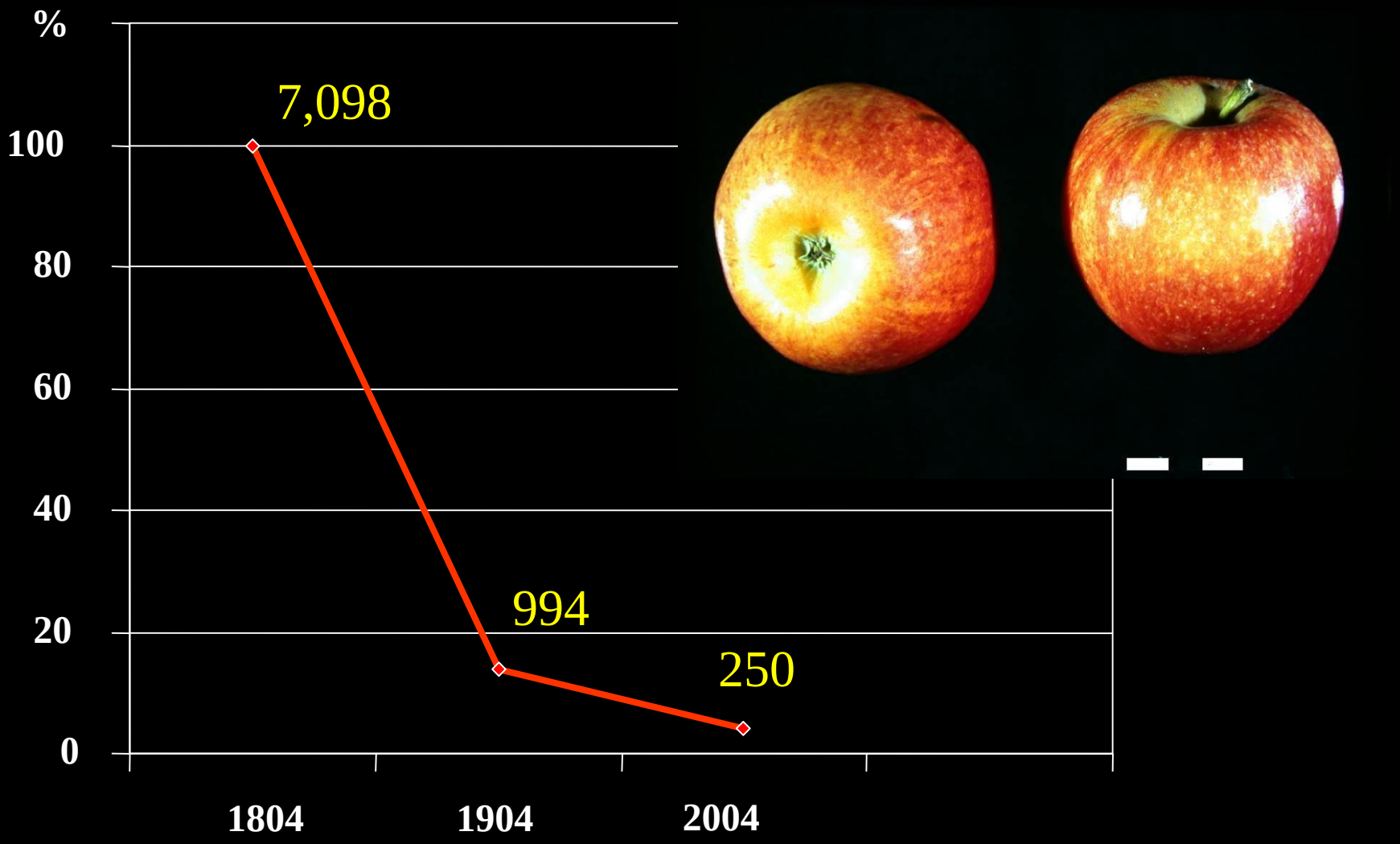
6. Cómo se forman los recursos genéticos?

7. Acciones: el manejo *in situ* y la conservación *ex situ*

8. Observaciones finales

La reducción/ concentración también ocurre dentro de cada cultivo

Evolución del número de variedades de manzana en uso comercial en Europa y Norteamérica



fuentes: FAO 1998, Fowler 2016, Populer et al. 1998

Erosión genética: extinción de variedades de hortalizas en Estados Unidos

Cultivo	no. de variedades en 1903	no. de variedades en 1983	% de pérdida
calabaza	341	40	88.3
cebolla	357	21	94.1
fríjol	578	32	94.5
lechuga	497	36	92.8
maní	31	2	93.5
maíz dulce	307	12	96.1
remolacha	288	17	94.1
repollo	544	28	94.9
sandía	223	20	91.0
tomate	408	79	80.6
zanahoria	287	21	92.7

en 1903: catálogos de variedades ← ventas de semillas por correo ← afición para las huertas

en 1983: consulta de catálogos de semilleristas, de inventarios de colecciones públicas/ privadas

fuente: Fowler 2016

Dos visiones de la agricultura (con sólo 130 años de diferencia)

antes de 1890	*después de 1890*
Sistema policultivo polivarietal	Sistema pococultivo monovarietal
Satisfacer muchas necesidades al nivel local (familia, tribu, aldea) → varios productos (varias fechas)	Satisfacer la necesidad del mercado al nivel nacional o global → un solo producto (una fecha), $$
Energía escasa/ cara → transporte a distancia limitado	Energía abundante/ (falsamente) barata → transporte a distancia/ afuera de la estacionalidad
Mantener la diversidad (servicio no pagado)	Diversidad: no relevante ?!
← sostenibilidad del sistema ← reducción de riesgos	sostenibilidad ← tecnología riesgos: seguro bancario
Continuidad familiar (→ Seguro social!)	Continuidad familiar: no cuenta

pero ambos, sobre todo el segundo, necesitan los rfgs

Dos visiones del uso de los recursos fitogenéticos

antes de 1890

agricultor

servicio de creación y producción

- observa y usa la variabilidad natural
- utiliza el flujo génico
- selecciona nuevas variantes para las necesidades de su familia/ comunidad
- las variantes cuentan si hay un mercado

el total de la variabilidad cuenta para rdto

- prioriza la seguridad alimentaria, y la variabilidad es la mejor garantía

rfg: condición implícita del éxito

después de 1890

fitomejorador

servicio delegado (y pagado) de creación

- estudia y recombina la variabilidad que está en colecciones de germoplasma
- aplica la selección asistida por marcadores
- compara descendencias (aptitud combinatoria) y hace edición de genes
- produce una nueva variedad → derechos distinta, homogénea y estable (UPOV)
- maximiza la producción de un fenotipo

→ producto preciso en un ambiente dado

rfg: insumo para el éxito

El fitomerajoramiento moderno sí fomentó la uniformidad ?

"When new barleys replace those grown by the farmers of Ethiopia or Tibet, the world will have lost something irreplaceable" (HV Harlan y ML Martini, 1936)

- desde 1960 en EE. UU.: casi la totalidad del maíz sembrado es en híbridos
- desde 1960 en Europa: reducción de 18% en diversidad alélica en trigo
- en 1960-2000 en América Latina: adopción de variedades modernas: 20-40% áreas

pese a inventarios incompletos (a nivel local y genético) (trabajo de los Rusos)

sí hubo pérdida de variabilidad, mayor a la creación de variabilidad nueva

pérdida doble: variantes genéticas y adaptaciones locales centenarias

sí se alcanzó a recuperar algo para bancos de germoplasma

desde 1910-1920 papel del transporte rural en difusión de variedades modernas

fuentes: Brown 1983, Bukasov 1930, Evenson & Gollin 2003, Gepts 2006, Harlan 1975, Olmstead & Rhode 2008, Roussel et al. 2005

PLAN

1. Recursos fitogenéticos: qué es?

2. Son los recursos fitogenéticos un tema importante? Por qué?

3. La performancia del gran utilizador

4. Consecuencias prácticas: la erosión genética

5. El otro frente: la extinción silenciosa

6. Cómo se forman los recursos genéticos?

7. Acciones: el manejo *in situ* y la conservación *ex situ*

8. Observaciones finales

Primer riesgo que afecta los silvestres: conocimiento incompleto:
adiciones recientes a la flora neotrópical

género (no. sp)	nombre	especie	sitio	no.[1]	AP[2]	año
Annona (~ 160)	anón	*caesia*	Panamá, Colón	16	sí	2015
Capsicum (~ 22)	ají	*ceratocalyx*	Bolivia, La Paz	5	no	2006
Ipomoea (~ 600)	batata	*gilana*	EE.-UU., Nuevo México	4	sí	2017
Manihot (~ 90)	yuca	*scandens*	Brasil, Mato Grosso	3	sí	2016
Oxalis (~ 800)	oca	*chachahuensis*	Argentina, Mendoza	8	no	2004
Passiflora (~ 240)	gulupa	*gustaviana*	Colombia, Cundinamarca	4	no	2017
Phaseolus (~ 80)	fríjol	*albicarminus*	Costa Rica, San José	3	no	2020
Psidium (~ 100)	guayaba	*bahianum*	Brasil, Bahía	12	sí	2008
Zea (~ 12)	teosinte	*vespertilio*	Costa Rica, Guanacaste	1	sí	2013

[1] número de poblaciones conocidas a la fecha

[2] áreas protegidas oficiales que incluyen por lo menos una población de la nueva especie

Los silvestres también están en peligro de extinción

ejemplo del fríjol *Phaseolus lignosus* Britton, endémica de Bermuda

P. lignosus en Colombia (en Popayán):
6,768 semillas en 2013 - 2015
en Bermuda: 29 plantas adultas



fuente: Britton 1918

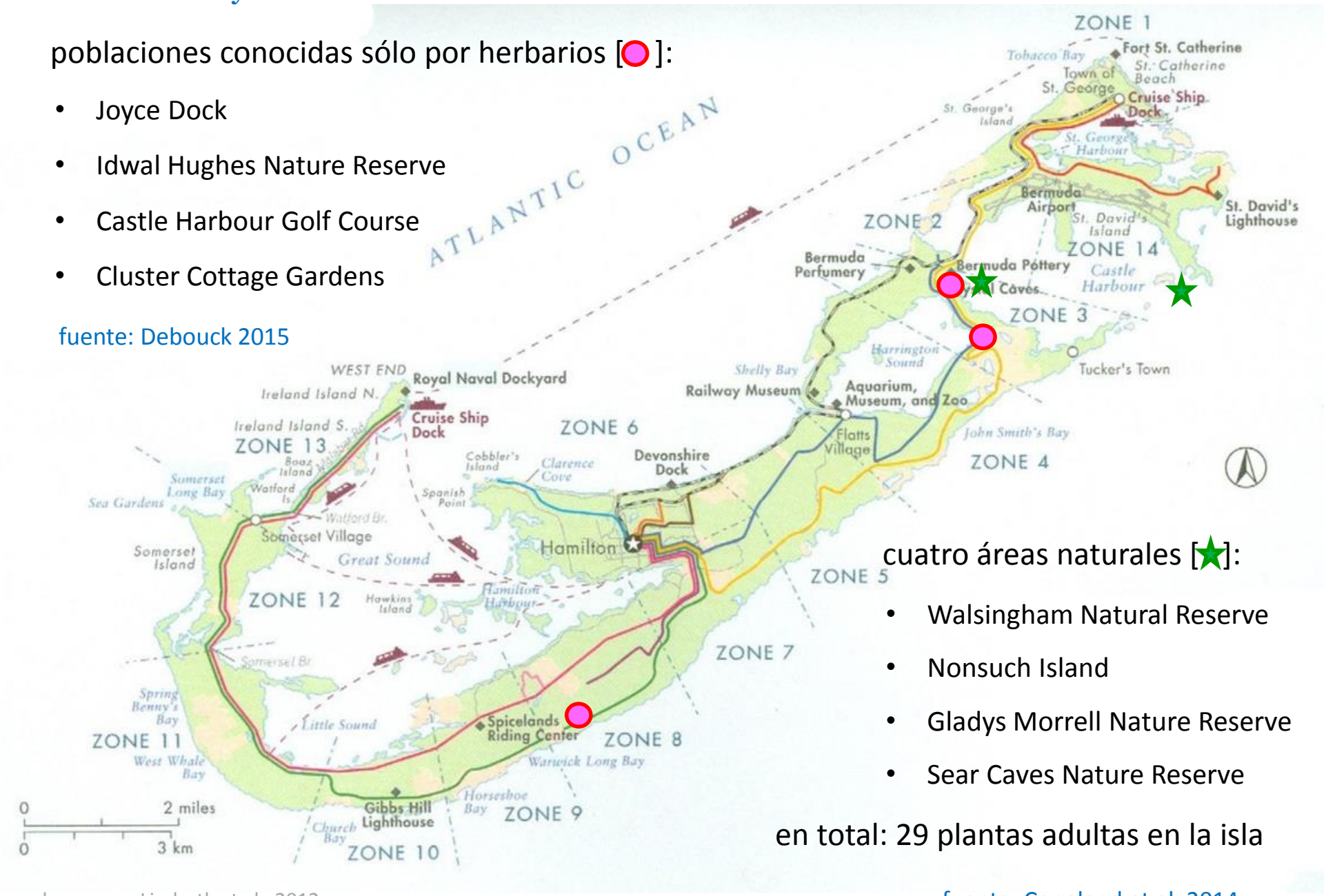
fuentes: Copeland et al. 2014, Debouck 2015

Distribución y estado de la conservación

poblaciones conocidas sólo por herbarios [●]:

- Joyce Dock
- Idwal Hughes Nature Reserve
- Castle Harbour Golf Course
- Cluster Cottage Gardens

fuente: Debouck 2015



cuatro áreas naturales [★]:

- Walsingham Natural Reserve
- Nonsuch Island
- Gladys Morrell Nature Reserve
- Sear Caves Nature Reserve

en total: 29 plantas adultas en la isla

base map: Lindroth et al. 2012

fuente: Copeland et al. 2014

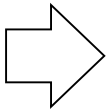
PLAN

1. Recursos fitogenéticos: qué es?

2. Son los recursos fitogenéticos un tema importante? Por qué?

3. La performancia del gran utilizador

4. Consecuencias prácticas: la erosión genética



5. Cómo se forman los recursos genéticos?

6. Acciones: el manejo *in situ* y la conservación *ex situ*

7. Observaciones finales

Cómo se forman los recursos fitogenéticos?

← acción de las fuerzas evolutivas x duración → variabilidad en las poblaciones

aumentan la variabilidad

mutación (y elementos transposables)

ocurre a baja frecuencia 10^{-8}, no confiere forzosamente una ventaja comparativa

entorno (humano) puede ser importante para fijar mutaciones (e.g. grano blanco)

hibridación (y recombinación)

ocurre a alta frecuencia, mecanismo principal para la variabilidad en poblaciones

no siempre objetivo de la selección humana; mecanismo clave para formación de razas

reducen la variabilidad

selección

ocurre en cada generación, mecanismo principal para tener individuos adaptados

doble en entorno humano: por el ambiente (modificado) y por la gente

deriva

pérdida de alelos por casualidad, ocurre en cada generación

lecturas adicionales: Briggs & Walters 1997, Darwin 1868, Dobzhansky 1982, Flavell 1985, Ford-Lloyd & Jackson 1986, Mayr 2001 Page & Holmes 1998

Edad de las especies, edad de los cultivos (ejemplo de *Phaseolus*)

a mayor duración, mayor acumulación de diversidad genética

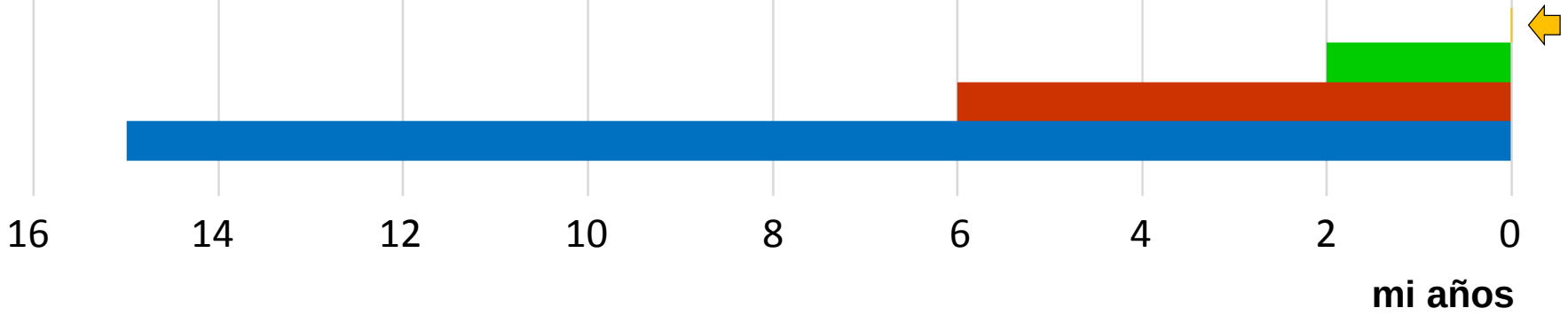
a mayor duración, mayor chance de supervivencia a estrés

duración de la domesticación

divergencia de las especies dentro de los *Phaseoli*

divergencia probable de los *Paniculati versus* los *Phaseoli*

divergencia de *Phaseolus* y otros géneros neotropicales: 'edad' del género



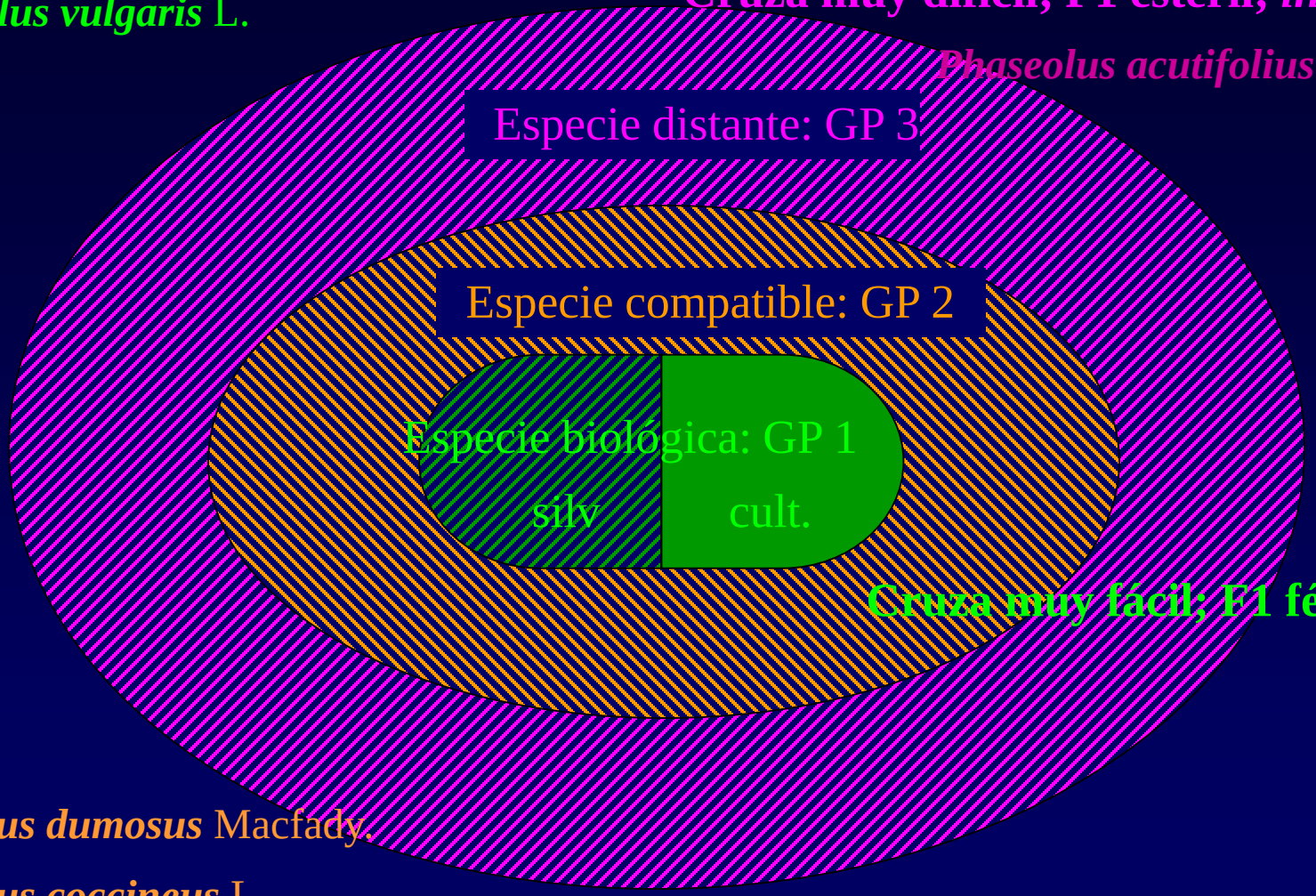
adaptado de Ariani et al. 2017; Chacón-Sánchez et al. 2007; Delgado-Salinas et al. 2006; Garcia et al. 2021; Gepts et al. 2000 Rendón-Anaya et al. 2017a,b

Acervos genéticos en fríjol común

Phaseolus vulgaris L.

Cruza muy difícil; F1 estéril; *in vitro*

Phaseolus acutifolius Asa Gray



Cruza muy fácil; F1 fértil

Phaseolus dumosus Macfady.

Phaseolus coccineus L.

adaptado de: Debouck 1999, Harlan & de Wet 1971

Cruza posible; algo de fertilidad en F1

PLAN

1. Recursos fitogenéticos: qué es?

2. Son los recursos fitogenéticos un tema importante? Por qué?

3. La performancia del gran utilizador

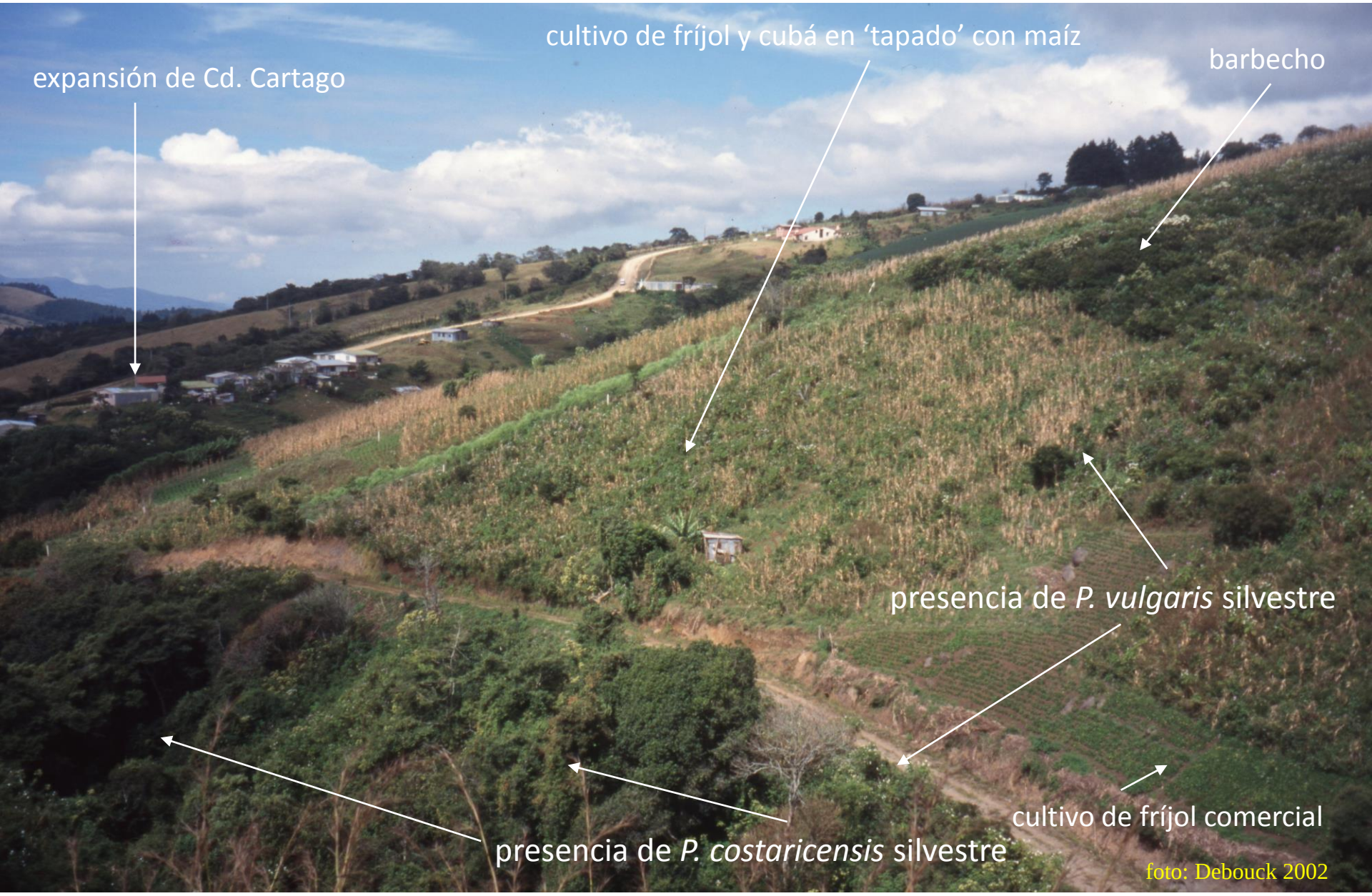
4. Consecuencias prácticas: la erosión genética

5. Cómo se forman los recursos genéticos?

6. Acciones: el manejo *in situ* y la conservación *ex situ*

7. Observaciones finales

Costa Rica, Cartago, Quircot, ladera de San Nicolás, 17 de diciembre de 2002



Situación testimonio de lo que fue la agricultura en todo el Valle Central durante 3,000 años?

Costa Rica, Cartago, Quircot, ladera de San Nicolás, 17 de diciembre de 2002

Análisis de los materiales encontrados (con peso 100 sem g)

en el monte cercano:

P. costaricensis silvestre



en los bordes:

híbrido natural?

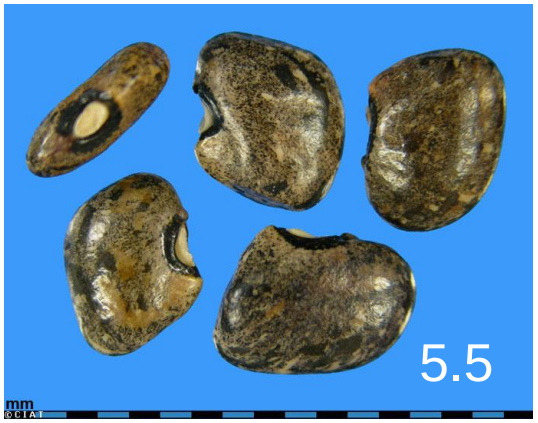


en el campo del agricultor:

P. dumosus cultivado



P. vulgaris silvestre



híbrido natural?



P. vulgaris cultivado



fotos y peso 100 semillas: CIAT genebank 2021

Posible caso de complejo silvestre-maleza-cultivo



Evidencia de flujo génico en fríjol común en ladera de Cartago, Costa Rica

silvestre
6.3 g



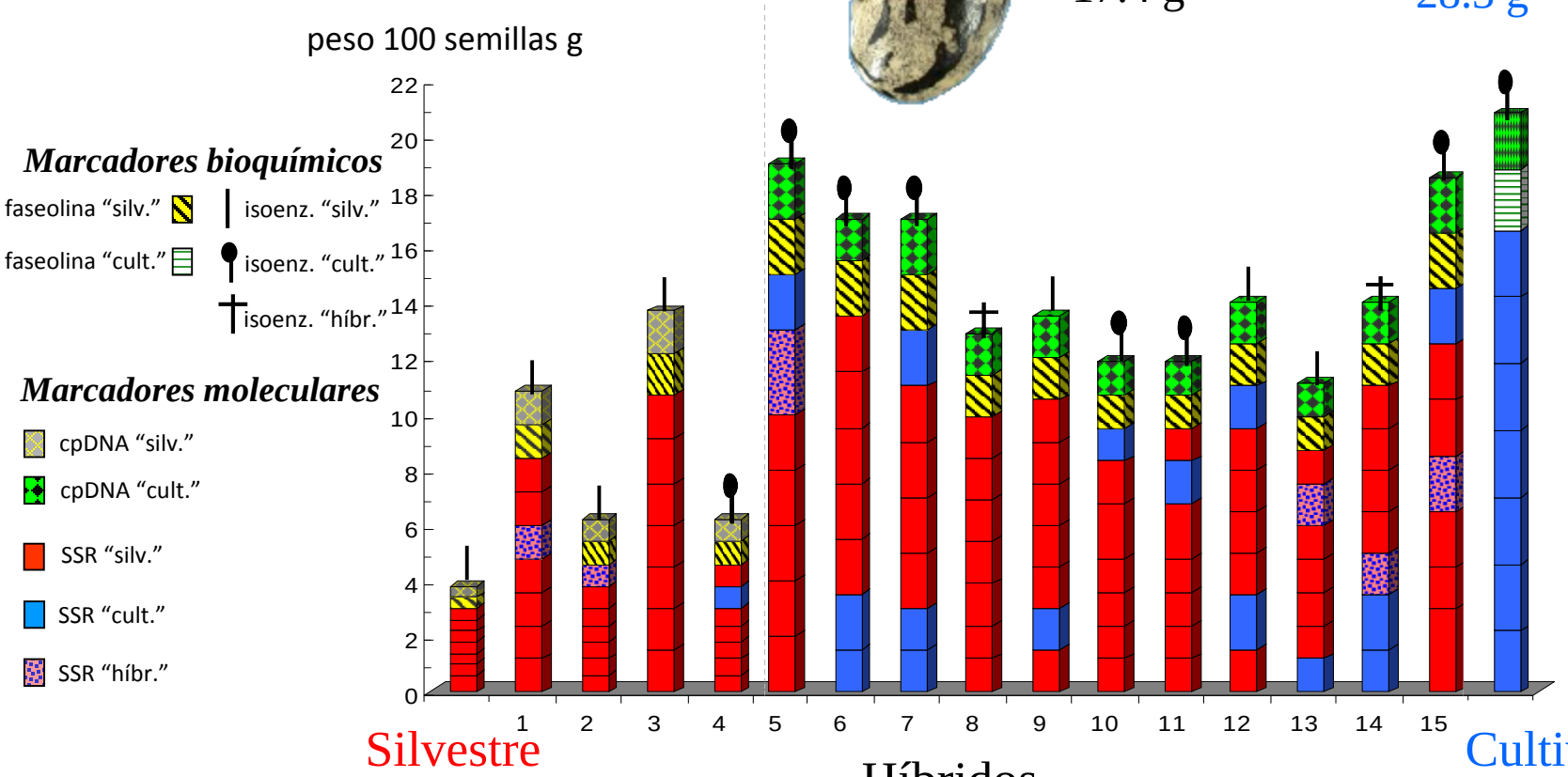
dirección del flujo de polen



cultivado
28.3 g



híbrido
17.4 g



fuente: González-Torres et al. 2004

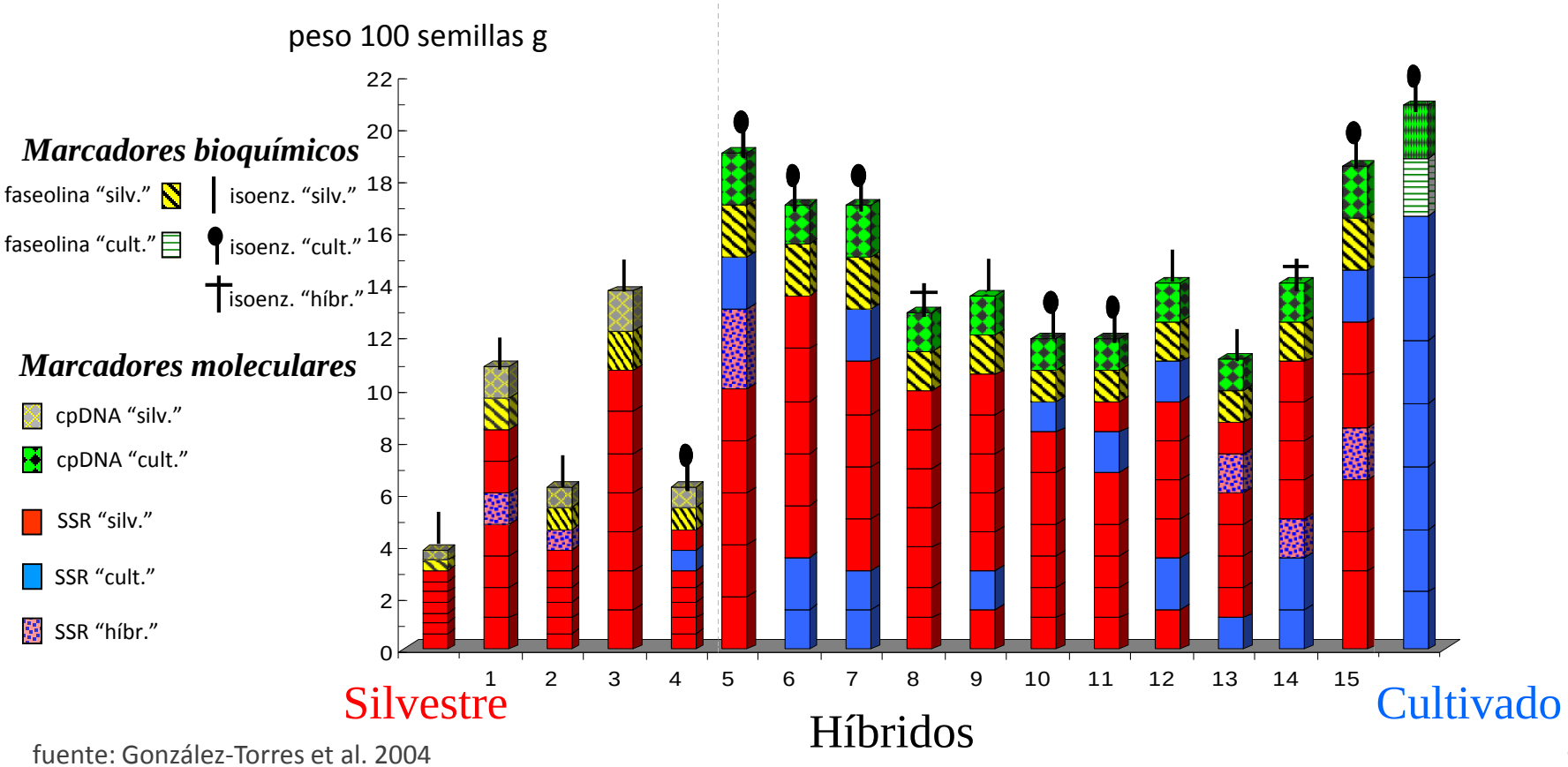
Evidencia de flujo génico en fríjol común en ladera de Cartago, Costa Rica

Posibles interpretaciones:

individuo #3: un silvestre que se cruzó con el cultivado y conservó una semilla más grande

individuo #5: un cultivado que se cruzó con el silvestre y recuperó una semilla grande

individuo #8: un cultivado que se cruzó con el silvestre y recuperó cacterísticas silvestres



fuente: González-Torres et al. 2004

Formación de complejos silvestre- maleza- cultivo

caso de plantas ‘autógamas’, ejemplo del fríjol



adaptado de Beebe et al. 1997

Reportes de cruzamiento cultivo-silvestre en cultivos tropicales

Cultivo	Región	fuente
ají	Sinaloa, México	Hernández V. et al. 2001
algodón	Galápagos, Ecuador	Wendel & Percy 1990
arroz	Chiengmai, Tailandia	Oka & Chang 1961
azuki	Honshu, Japón	Xu et al. 2000
fríjol cacha		bouck 1991
fríjol común		e et al. 1997
fríjol Lima		o et al. 2007
maíz	Guerrero, México	Wilkes 1977
papa (2n)	Cuzco, Perú	Rabinowitz et al. 1990
sorgo	Kasala, Sudán	Harlan 1995
pipián	Sonora, México	Merrick & Nabhan 1984

por qué tan frecuente?
porque los agricultores seleccionaban para características de interés para ellos/ ellas
no el sistema reproductivo de las plantas

Desafíos de la conservación en fincas de agricultores

- poblaciones de plantas muy pequeñas y fragmentadas, hoy contrario al pasado
- tamaño insuficiente para enfrentar nuevas enfermedades y/o seguir evolucionando
- costos en el manejo de un ambiente rural modificado pero con tradición
- interés de los jóvenes de usar tecnologías que ahorran tiempo (herbicidas!)
- régimen de precios preferenciales para variedades tradicionales, alterado/ abandonado
- alteraciones en las presiones de selección original (aculturación)
- demostración que estas presiones de selección son útiles para la evolución del cultivo
- las presiones de selección original ya no se aplican (migración/ extinción humana)

lecturas adicionales: Altieri & Merrick 1987, Brown 2000, Brush 1995, Clawson 1985, Ford-Lloyd & Jackson 1986, Moreno-Letelier et al. 2020, Oldfield & Alcorn 1987

Desafíos para la conservación de silvestres *in situ*:

para el fríjol de Bermuda: georeferenciar poblaciones, comprar terrenos, planes de manejo

Archipiélago de Bermuda: ~30 islas; 52 km^2; 72,000 habitantes; densidad 1,385 personas/ km^2



parte occidental de Long Island

fuentes: US Census Bureau 2020, Wall Street Journal 2015, Watson et al. 1965


Interstate Rd 30, 13/09/2013
Ames, Iowa
población fundadora de *Helianthus petiolaris* Nutt.
Convertir áreas actualmente subutilizadas y que cuestan dinero para mantenimiento en reservas genéticas para parientes silvestres que sí necesitan un habitat alterado
foto: Debouck 2013

Conservación *ex situ*

- ✓ propósito = conservar un material con propiedades fijas y conocidas → acceso

  las primeras colecciones de rfgs eran las colecciones de trabajo de fitomejoradores

- ✓ crítica frecuente: se conserva un material con evolución fijada en el tiempo

  = mayor desafío: conservar estas propiedades fijas y conocidas a través del tiempo

- ✓ propósito desafiante: nunca se anticipó la magnitud de la variación en los cultivos
- ✓ aplicabilidad con duda: árboles tropicales con semillas recalcitrantes (p.ej. cacao)
- ✓ costos de conservación son significativos (e.g. *in vitro*, regeneración):

  → visibilidad mediante distribución (pero fitosanidad!)

  → investigación sobre el objeto y metodologías de conservación

lecturas adicionales: Cohen et al. 1991, Hong et al. 1996, Koo et al. 2004, Plucknett et al. 1987, Wilkes 1983

Materiales conservados en fideicomiso por el Consultative Group on International Agricultural Research



CIMMYT
maíz: 28,316
trigo: 152,835

Africa Rice
arroz: 19,983

Bioversity
bananos: 1,518

ICRISAT
mijos, sorgos: 74,102
menestras: 49,819

CIAT
fríjoles: 37,987
yuca: 6,643
forrajes: 23,140

ICARDA
cebada y trigo: 76,140
menestras: 44,175
forrajes: 35,335

ILRI
forrajes: 18,675

ICRAF
árboles frutales: 3,600
otros árboles: 5,219

CIP
papa: 4,725
camote: 6,499
RTAs: 1,460

IITA
colecciones semillas (caupí, maíz): 23,317
colecciones clonales (plátano, ñame): 9,440

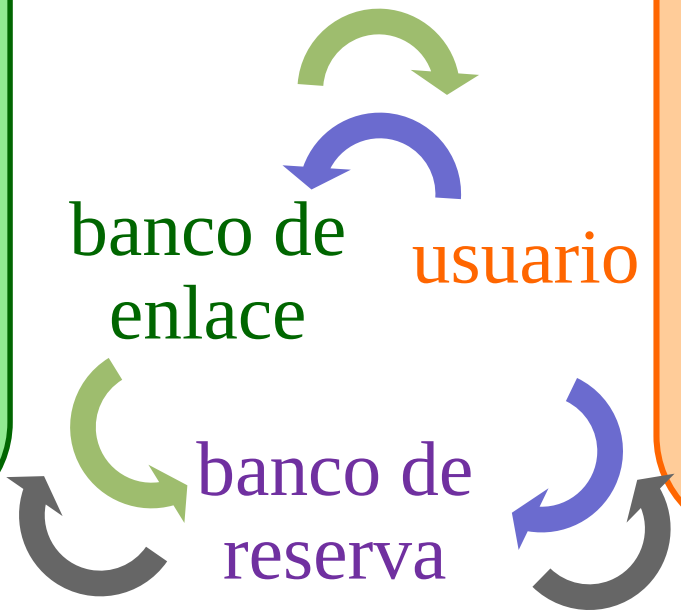
IRRI
arroz: 127,577

fuente: CGIAR genebanks 2016

Hacia una “especialización” de los bancos: reserva y enlace?

- conserva pocos materiales pero muy solicitados
- remite muestras grandes de pocos materiales
- practica extensión en y con germoplasma
- identifica variantes raras para el banco de reserva
- prueba variedades contra cambio climático

FAO 2010:
> 7 mi accesiones
> 1,700 bancos



- quiere acceso a material/ gen con características conocidas
- quiere un material para un lugar específico
- quiere un material para una necesidad específica
- quiere entrega inmediata
- mejoramiento del CGIAR ≤45% solicitudes !?

- conserva cantidades pequeñas de todas variantes/ alelos
- reune y verifica todos los datos pertinentes
- conserva para largo plazo asegurando los 3 controles de calidad
- suministra información al personal de los bancos de enlace

fuente: Debouck 2014

Conservación *ex situ*: qué debemos conservar?

- pregunta relevante por avances en mapeo comparativo y en tecnología de “tijeras genéticas”
- genoma: cohabitación funcional de genes muy antiguos (> familia) y recientes (sp. afines)
- genes implicados en resistencias a enfermedades en grupos en zonas distales mismos cromos.
- potencial de la genómica, autocatalizador = comparar todas las variantes conocidas
- tecnologías robustas (SSRs, SNPs) para reunir los duplicados internos → cupo a nuevos
- genes pueden ser copiados en lugar de transferidos, en caso de cruzamientos imposibles
- genes pueden ser editados (p.ej. calidad de proteína, aceite; característica de la epidermis)
- mapeo comparativo y “tijeras genéticas” *versus* otras tecnologías: costos y tiempos

lecturas adicionales: Bhatta & Malla 2020, Mayr 2001, Paterson el al. 2006, van Treuren & van Hintum 2014, Xu et al. 2020

Conservación *ex situ*: el Depósito Global de Semillas de Svalbard

- el acuerdo entre el RMFAN y el Depositante implica que se conserva allí una 2da copia
- el mismo acuerdo implica que la viabilidad de cada muestra es responsabilidad del Depositante
- está entendido que cada material enviado por un Depositante al Svalbard es único
- el acto de depositar en Svalbard no confiere al RMFAN ninguna propiedad sobre el material

Agricultor filipino invitado por Noruega al Svalbard en 2008: "no sé a qué me sirve el SGSV"
(refuerza la invitación de Noruega a los gobiernos a tomar acciones para los RFGAA)

pero el Depósito de Svalbard ya demostró lo útil de su propósito para las colecciones del ICARDA

Lecturas adicionales: Brush 2000; FAO 1998; Fowler 2016; Gepts 2006; Oldfield 2010

foto: Debouck 2018

Observaciones finales (1)

- en 1970-2020, mientras la población mundial se duplicó, de 3,500,000,000 a 7,500,000,000 los genetistas, los agrónomos y los agricultores han demostrado una capacidad jamás vista en saber usar los rfgs, pero: la alta productividad no vendría con alta uniformidad?

- los rfgs han recibido la atención de los países a un alto nivel: el Tratado (2002), pero varios países deben aún hacer el inventario en casa (qué?, dónde?, en cuál estado?)

- no se entiende bien una soberanía a medias; entonces mucho más trabajos de campo, y seguir formando generaciones de biólogos (hay muchos géneros de plantas 'huérfanos'!)

- la conservación *in situ* de los silvestres va ser costosa: espacio permanente y monitoreo

  es imperativo generar beneficios: i) áreas protegidas sí pueden generar beneficios

  ii) reconvertir áreas no utilizadas en reservas genéticas

  iii) reflejar el costo en el producto final?

lecturas adicionales: Beattie & Ehrlich 2004, Borlaug 1983, Brown 1983, Harlan 1992, Prescott-Allen (2) 1983, Ulloa Ulloa et al. 2017

Observaciones finales (2)

- la conservación desde 1930 muestra una complejidad no sospechada (e.g. regeneración)
  pocos anticiparon el tamaño de la herencia agrobiológica (extinta en el campo → riesgo?)

- está el debate: innovaciones biotecnológicas *versus* variedades antiguas de valor probado
  el público tiene el derecho de conocer estos dilemas y riesgos

- los flujos génicos pueden ofrecer una oportunidad para los derechos de los agricultores
  tal como existen los derechos de obtentores (cfr UPOV), derechos de 'domesticadores'?

- las tecnologías de conservación y de utilización se mejoran/ amplían rápidamente
  la extinción es permanente, es pérdida neta de opciones (y efecto autocatalizador)

- la genómica ha progresado como jamás para enseñarnos la historia de los cultivos, pero
  hay conciencia y voluntad para corregir el camino hacia la uniformidad del último siglo?

lecturas adicionales: Brown 1983, Harlan 1995, Wells 2010

Referencias (1)

Altieri, M.A. & L.C. Merrick. 1987. *In situ* conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. Econ. Bot. 41 (1): 86-96.

Ariani, A., J.C. Berny-Mier y Terán & P. Gepts. 2017. Spatial and temporal scales of range expansion in wild *Phaseolus vulgaris*. Mol. Biol. Evol. 35 (1): 119-131.

Beattie, A. & P.R. Ehrlich. 2004. Wild solutions: how biodiversity is money in the bank, 2nd edition. Yale University Press. New Haven, Connecticut, USA. 261p.

Beckmann, J.S. & M. Soller. 1986. Restriction fragment length polymorphisms and genetic improvement of agricultural species. Euphytica 35: 111-124.

Beebe, S.E., O. Toro-Chica, A.V. González, M.I. Chacón-Sánchez & D.G. Debouck. 1997. Wild-weed-crop complexes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) in the Andes of Peru and Colombia, and their implications for conservation and breeding. Genet. Resources & Crop Evol. 44 (1): 73-91.

Bhatta, B.P. & S. Malla. 2020. Improving horticultural crops via CRISPR/ Cas9: current successes and prospects. Plants 9 (1360): 1-19.

Bolarín, M.C., F.G. Fernández, V. Cruz & J. Cuartero. 1991. Salinity tolerance in four wild tomato species using vegetative yield-salinity response curves. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116 (2): 286-290.

Bonjean, A. & E. Picard. 1990. Les céréales à paille: origine, histoire, économie, sélection. Softword/ ITM. Poitiers, France. 205p.

Borlaug, N.E. 1983. Contributions of conventional plant breeding to food production. Science 219: 689-693.

Briggs, D. & S.M. Walters. 1997. Plant variation and evolution. 3rd edition. Cambridge University Press. Cambridge, England. 512p.

Brown, A.H.D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them *in situ* on farms. *in*: "Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity", S.B. Brush (ed.). Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. Pp. 29-48.

Brown, W.L. 1983. Genetic diversity and genetic vulnerability – an appraisal. Econ. Bot. 37 (1): 4-12.

Brush, S.B. 1995. *In situ* conservation of landraces in centers of crop diversity. Crop Sci. 35 (2): 346-354.

Brush, S.B. 2000. The issues of *in situ* conservation of crop genetic resources. *in*: "Genes in the field - On-farm conservation of crop diversity", S.B. Brush (ed.). Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, USA. Pp. 3-26.

Bukasov, S.M. 1930. The cultivated plants of Mexico, Guatemala and Colombia. Bull. Appl. Bot. Genet. Pl. Breed. (Leningrad) Supplem. 47: 1-553.

Bunting, A.H. & B. Pickersgill. 1996. What is a plant genetic resource? Biologist 43 (5): 227-230.

Referencias (2)

Butzer, K.W. 1995. Biological transfer, agricultural change, and environmental implications of 1492. *in*: "International germplasm transfer: past and present", R.R. Duncan (ed.). American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of America Inc.. Special publication number 23. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 3-29.

Chacón-Sánchez, M.I., B. Pickersgill, D.G. Debouck & J. Salvador-Arias. 2007. Phylogeographic analysis of the chloroplast DNA variation in wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the Americas. Pl. Syst. Evol. 266 (3-4): 175-195.

Clawson, D.L. 1985. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. Econ. Bot. 39 (1): 56-67.

Cohen, J.I., J.T. Williams, D.L. Plucknett & H. Shands. 1991. *Ex situ* conservation of plant genetic resources: global development and environmental concerns. Science 253: 866-872.

Cook, O.F. 1919. Milpa agriculture, a primitive tropical system. Smithsonian Inst. Washington Annu. Rept. Pp. 307-326.

Copeland, A., Malcolm, P. & Barrios, S. 2014. *Phaseolus lignosus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T56960811A56960839. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T56960811A56960839.en.

Darwin, C. 1868. The variation of animals and plants under domestication. Vol. 1. Re-edition of 1998. The John Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, USA, 473p.

Debouck, D.G. 1999. Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. *in*: "Common bean improvement in the twenty first century", S.P. Singh (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. Pp. 25-52.

Debouck, D.G. 2015. Observations about *Phaseolus lignosus* (Leguminosae: Papilionoideae: Phaseoleae), a bean species from the Bermuda Islands. J. Bot. Res. Inst. Texas 9 (1): 107-119.

Delgado-Salinas, A., R. Bibler & M. Lavin. 2006. Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. Syst. Bot. 31 (4): 779-791.

Dobzhansky, T. 1982. Genetics and the origin of species. Columbia University Press. New York, New York, USA. 364p.

Esquinas-Alcazar, J.T. 1981. Genetic resources of tomatoes and wild relatives: a global report. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy. 65p.

Evans, L.T. 1998. Feeding the ten billion: plants and population growth. Cambridge University Press. Cambridge, England. 247p.

Evenson, R.E. & D. Gollin. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. Science 300: 758-762.

Flavell, R.B. 1985. Repeated sequences and genome change. *in*: "Genetic flux in plants", B. Hohn & E.S. Dennis (eds.). Springer-Verlag. Wien, Austria. Pp. 139-156.

Food and Agriculture Organization. 1998. The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 510p.

Referencias (3)

FAO. 2002. The International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 45p.

Ford-Lloyd, B. & M. Jackson. 1986. Plant genetic resources: an introduction to their conservation and use. Edward Arnold Publishers, London, United Kingdom. 152p.

Fowler, C. 2016. Seeds on ice: Svalbard and the global seed vault. Prospects Press, Westport, Connecticut, USA. 161p.

Frankel, O.H. & E. Bennett. 1970. Genetic resources. *in*: "Genetic resources in plants – Their exploration and conservation", O.H. Frankel & E. Bennett (eds.). International Biological Programme Handbook no. 11. Blackwell Scientific Publications. Oxford and Edinburgh, United Kingdom. Pp. 7-17.

Garcia, T., J. Duitama, S. Smolenski-Zullo, J. Gil, A. Ariani, S. Dohle, A. Palkovic, P. Skeen, C.I. Bermudez-Santana, D.G. Debouck, J. Martínez-Castillo, P. Gepts & M.I. Chacón-Sánchez. 2021. Comprehensive genomic resources related to domestication and crop improvement traits in Lima bean. Nature Communications 12 (702): 1-17.

Gepts, P. 2006. Plant genetic resources conservation and utilization: the accomplishments and future of a societal insurance policy. Crop Sci. 46 (5): 2278-2292.

Gepts, P., R. Papa, S. Coulibaly, A. González-Mejía & R. Pasquet. 2000. Wild legume diversity and domestication - Insights from molecular methods. *in*: "Wild legumes", K. Oono (ed.). Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, and National Institute of Agrobiological Resources. Tsukuba, Ibaraki, Japan. Pp. 19-31.

González-Torres, R.I., E. Gaitán-Solís, R. Araya-Villalobos, O. Toro-Chica, J. Tohme & D.G. Debouck. 2004. Additional evidence on gene flow events in *Phaseolus vulgaris* in Costa Rica. Annu. Rep. Bean Improvement Coop. (USA) 47: 167-168.

Hanson, T. 2015. The triumph of seeds: how grains, nuts, kernels, pulses and pips conquered the plant kingdom and shaped human history. Basic Books, New York, New York, USA. 277p.

Harlan, J.R. 1971. Agricultural origins: centers and non-centers. Science 174 (4008): 468-474.

Harlan, J.R. 1975. Our vanishing genetic resources. Science 188: 618-621.

Harlan, J.R. 1992. Crops and man. 2nd edition. American Society of Agronomy, Inc. and Crop Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 284p.

Harlan, J.R. 1995. The living fields: our agricultural heritage. Cambridge University Press. Cambridge, England. 271p.

Harlan, J.R. & J.M.J. de Wet. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. Taxon 20 (4): 509-517.

Hawkes, J.G. 1983. The diversity of crop plants. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA. 184p.

Hernández-Verdugo, S., R. Luna-Reyes & K. Oyama. 2001. Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* (Solanaceae) from Mexico. Plant Syst. Evol. 226 (3-4): 129-142.

Referencias (4)

Hickey, L.T., A.N. Hafeez, H. Robinson, S.A. Jackson, S.C.M. Leal-Bertioli, M. Tester, C. Gao, I.D. Godwin, B.J. Hayes & B.B.H. Wulff. 2019. Breeding crops to feed 10 billion. Nature Biotechnol. 37: 744-754.

Hong, T.D., S. Linnington & R. Ellis. 1996. Seed storage behavior: a compendium. Handbooks for genebanks no. 4. International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 656p.

Jacob, H.E. 1944. Six thousand years of bread: its holy and unholy history. Doubleday, Doran, and Company. Garden City, New York, USA. 399p.

Khoshbakht, K. & K. Hammer. 2008. How many plant species are cultivated? Genet. Resources & Crop Evol. 55 (7): 925-928.

Koo, B., P.G. Pardey & B.D. Wright (eds.). 2004. Saving seeds: the economics of conserving crop genetic resources *ex situ* in the future harvest Centres of the CGIAR. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. 207p.

Larson, G., D.R. Piperno, R.G. Allaby, M.D. Purugganan, L. Andersson, M. Arroyo-Kalin, L. Barton, C. Climer-Vigueira, T. Denham, K. Dobney, A.N. Doust, P. Gepts, M.T.P. Gilbert, K.J. Gremillon, L. Lucas, L. Lukens, F.B. Marshall, K.M. Olsen, J.C. Pires, P.J. Richerson, R. Rubio de Casas, O.I. Sanjur, M.G. Thomas & D.Q. Fuller. 2014. Current perspectives and the future of domestication studies. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 111 (17): 6139-6146.

Laterrot, H. 1989. La tomate – Intérêt et utilisation des espèces sauvages pour la création variétale. Rev. Hortic. 295: 3-7.

Lebot, V. 1999. Biomolecular evidence for plant domestication in Sahul. Genet. Resources & Crop Evol. 46 (6): 619-628.

Leigh, G.J. 2004. The world's greatest fix - A history of nitrogen and agriculture. Oxford University Press. New York, New York, USA. 242p.

Louette, D. 2000. Traditional management of seed and genetic diversity: what is a landrace? *in*: "Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity", S.B. Brush (ed.). Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. Pp. 109-142.

Lurquin, P.F. High tech harvest: understanding genetically modified food plants. Westview Press. Boulder, Colorado, USA. 218p.

Mapes, C. & F. Basurto. 2016. Biodiversity and edible plants of Mexico. *in*: "Ethnobotany of Mexico: interactions of people and plants in Mesoamerica", R. Lira, A. Casas & J. Blancas (eds.). Springer, New York, New York, USA. Pp. 83-131.

Martínez-Castillo, J., D. Zizumbo-Villareal, P. Gepts & P. Colunga-GarcíaMarín. 2007. Gene flow and genetic structure in the wild-weedy-domesticated complex of *Phaseolus lunatus* L. in its Mesoamerican center of domestication and diversity. Crop Sci. 47 (1): 58-66.

Mayr, E. 2001. What evolution is. Basic Books. New York, New York, USA. 318p.

McClelland, P.D. 1997. Sowing modernity - America's first agricultural revolution. Cornell University Press. Ithaca, New York, USA. 348p.

Mendel, G. 1865. Versuche über pflanzenhybriden. Verhandlungen des naturforschenden Vereines Brünn. 4: 3-47 (verlag von Wilhelm Engelmann, 1901, Leipzig, Germany).

Referencias (5)

Merrick, L.C. & G.P. Nabhan. 1984. Natural hybridization of wild *Cucurbita sororia* group and domesticated *C. mixta* in southern Sonora, Mexico. Cucurbit Genet. Coop. 7: 73-75.

Moreno-Letelier, A., J.A. Aguirre-Liguori, D. Piñero, A. Vázquez-Lobo & L.E. Eguiarte. 2020. The relevance of gene flow with wild relatives in understanding the domestication process. Roy. Soc. Open Sci. 7 (4): 1-11.

Mukherjee, S. 2016. The gene: an intimate history. Scribner. New York, New York, USA. 594p.

Oka, H.I. & W.T. Chang. 1961. Hybrid swarms between wild and cultivated rice species, *Oryza perennis* and *O. sativa*. Evolution 15: 418-430.

Oldfield, M.L. 1989. The value of conserving genetic resources. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, USA. 379p.

Oldfield, M.L. & J.B. Alcorn. 1987. Conservation of traditional agroecosystems. BioScience 37 (3): 199-208.

Oldfield, S. 2010. Botanic gardens: modern-day arks. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA. 240p.

Olmstead, A.L. & P.W. Rhode. 2008. Creating abundance: biological innovation and American agricultural development. Cambridge University Press, New York, New York, USA. 467p.

Page, R.D.M. & E.C. Holmes. 1998. Molecular evolution: a phylogenetic approach. Blackwell Science Ltd.. Oxford, England. 346p.

Paterson, A.H., M. Freeling & T. Sasaki. 2006. Grains of knowledge: genomics of model cereals. *in*: "Genomes", H.E. Sussman & M.A. Smit (eds.). Cold Spring Harbor Laboratory Press. Cold Spring Harbor, New York, USA. Pp. 97-116.

Plucknett, D.L., N.J.H. Smith, J.T. Williams & N. Murthi-Anishetty. 1987. Gene banks and the world's food. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 247p.

Prescott-Allen, R. & C. Prescott-Allen. 1983. Genes from the wild - Using wild genetic resources for food and raw materials. Earthscan, International Institute for Environment and Development. London, England. 101p.

Prescott-Allen, R. & C. Prescott-Allen. 1990. How many plants feed the world? Conserv. Biol. 4 (4): 365-374.

Pringle, P. 2003. Food, Inc.: Mendel to Monsanto – the promises and perils of the biotech harvest. Simon & Schuster. New York, New York, USA. 239p.

Rabinowitz, D., C.R. Linder, R. Ortega, D. Begazo, H. Murguia, D.S. Douches & C.F. Quiros. 1990. High levels of interspecific hybridization between *Solanum sparsipilum* and *S. stenotomum* in experimental plots in the Andes. Amer. Potato J. 67 (2): 73-81.

Rendón-Anaya, M., J.M. Montero-Vargas, S. Saburido-Alvarez, A. Vlasova, S. Capella-Gutiérrez, J.J. Ordaz-Ortiz, O.M. Aguilar, R.P. Vianello-Brondani, M. Santalla, L. Delaye, T. Gabaldón, P. Gepts, R. Winkler, R. Guigó, A. Delgado Salinas & A. Herrera-Estrella. 2017a. Genomic history of the origin and domestication of common bean unveils its closest sister species. Genome Biol. 18 (60): 1-17.

Referencias (6)

Rendón-Anaya, M., A. Herrera-Estrella, P. Gepts & A. Delgado Salinas. 2017b. A new species of Phaseolus (Leguminosae, Papilionoideae) sister to *Phaseolus vulgaris*, the common bean. Phytotaxa 313 (3): 259-266.

Rick, C.M. 1974. High soluble-solids content in large-fruited tomato lines derived from a wild green-fruited species. Hilgardia 42 (15): 493-510.

Rick, C.M. 1979. Potential improvement of tomatoes by controlled introgression of genes from wild species. Proc. Conf. Broadening Genet. Base Crops, Wageningen, 1978. PUDOC. Wageningen, The Netherlands. Pp. 167-173.

Rick, C.M. 1982. The potential of exotic germplasm for tomato improvement. *in*: "Plant improvement and somatic cell genetics", I.K. Vasil, W.R. Scowcroft & K.J. Frey (eds.). Academic Press, Inc. Orlando, Florida, USA. Pp. 1-28.

Ross, H. 1986. Potato breeding: problems and perspectives. Adv. Plant Breed. 13: 1-132.

Roussel, V., L. Leisova, F. Exbrayat, Z. Stehno & F. Balfourier. 2005. SSR allelic diversity changes in 480 European bread wheat varieties released from 1840 to 2000. Theor. Appl. Genet. 111 (1): 162-170.

Sachs, J.D. 2008. Common wealth: economics for a crowded planet. Penguin Books. New York, New York, USA. 386p.

Schmit, V. & D.G. Debouck. 1991. Observations on the origin of *Phaseolus polyanthus* Greenman. Econ. Bot. 45 (3): 345-364.

Smith, B.D. 1995. The emergence of agriculture. Scientific American Library. A division of HPHLP. New York, New York, USA. 230p.

Spengler III, R.N. 2020. Anthropogenic seed dispersal: rethinking the origins of plant domestication. Trends Plant Sci. 25 (4): 340-348.

Ulloa Ulloa, C., P. Acevedo-Rodríguez, S. Beck, M. J. Belgrano, R. Bernal, P. E. Berry, L. Brako, M. Celis, G. Davidse, R. C. Forzza, S. R. Gradstein, O. Hokche, B. León, S. León-Yánez, R. E. Magill, D. A. Neill, M. Nee, P. H. Raven, H. Stimmel, M. T. Strong, J. L. Villaseñor, J. L. Zarucchi, F. O. Zuloaga & P. M. Jørgensen. 2017. An integrated assessment of the vascular plant species of the Americas. Science 358: 1614-1617.

van Treuren, R. & T.J.L. van Hintum. 2014. Next-generation genebanking: plant genetic resources management and utilization in the sequencing era. Plant Genet. Resources Charact. Utiliz 12 (3): 298-307.

Vavilov, N.I. 1926. Centers of origin of cultivated plants. Tr. po prikl. Bot. i Selek.16 (2): 1-113.

Waterman, P.G. 1989. Bioactive phytochemicals – the search for new sources. *in*: "New crops for food and industry", G.E. Wickens, N. Haq & P. Day (eds.). Chapman & Hall Limited, London, United Kingdom. Pp. 378-390.

Watson, J.W., J. Oliver & C.H. Foggo. 1965. A geography of Bermuda. Collins. London, England. 128p.

Wells, S. 2010. Pandora's seed: the unforeseen cost of civilization. Random House, Inc. New York, New York, USA. 230p.

Wendel, J.F. & R.G. Percy. 1990. Allozyme diversity and introgression in the Galapagos Islands endemic *Gossypium darwinii* and its relationship to continental G. barbadense. Biochem. System. Ecol. 18 (7-8): 517-528.

Referencias (7)

Wilkes, H.G. 1977. Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. Econ. Bot. 31 (3): 254-293.

Wilkes, G. 1983. Current status of crop plant germplasm. CRC Critical Reviews in Plant Sciences 1 (2): 133-181.

Willis, K.J. (ed.). 2017. State of the world's plants – 2017 report. Royal Botanic Gardens. Kew, England. 100p.

Wilson, E.O. 1992. The diversity of life. W.W. Norton & Company. New York, New York, USA. 424p.

Wink, M. & B.E. van Wyk. 2008. Mind-altering and poisonous plants of the world. Timber Press Inc. Portland, Oregon, USA. 464p.

Xu, H., L. Zhang, K. Zhang & Y. Ran. 2020. Progresses, challenges, and prospects of genome editing in soybean (*Glycine max*). Front. Plant Sci. 11 (571138): 1-19.

Xu, R.Q., N. Tomooka, D.A. Vaughan & K. Doi. 2000. The *Vigna angularis* complex: genetic variation and relationships revealed by RAPD analysis, and their implications for *in situ* conservation and domestication. Genet. Resources & Crop Evol. 47 (2): 123-134.



Muchas Gracias

información adicional: d.debouck@cgiar.org

foto: Debouck 2017