

“¿Es posible la doble ganancia de seguridad alimentaria y de conservación amplia?”

D.G. Debouck

San José @ Cali, 31 de mayo de 2021

2020: un año perdido para una especie (*Homo sapiens* (?)) por una virosis anticipada



Gripe

Boston, noviembre 1918
> 20,000,000 víctimas



SARS-CoV-2

Bruselas, abril 2020
> ?,000,000 víctimas

y si una virosis severa con rápida propagación afecta el arroz o el maíz?

ojo: no es ciencia ficción, porque ya ocurrió!

*“... who would survive if wheat, rice, or maize were to be destroyed?
To suggest such a possibility would have seemed absurd a few years ago.
It is not absurd now. We are taking risks we need not and should not take.”*

Jack Rodney Harlan, 1972



Dublin, 6 de junio de 2011

foto: Deboeck 2011



GLOBAL BIODIVERSITY STRATEGY

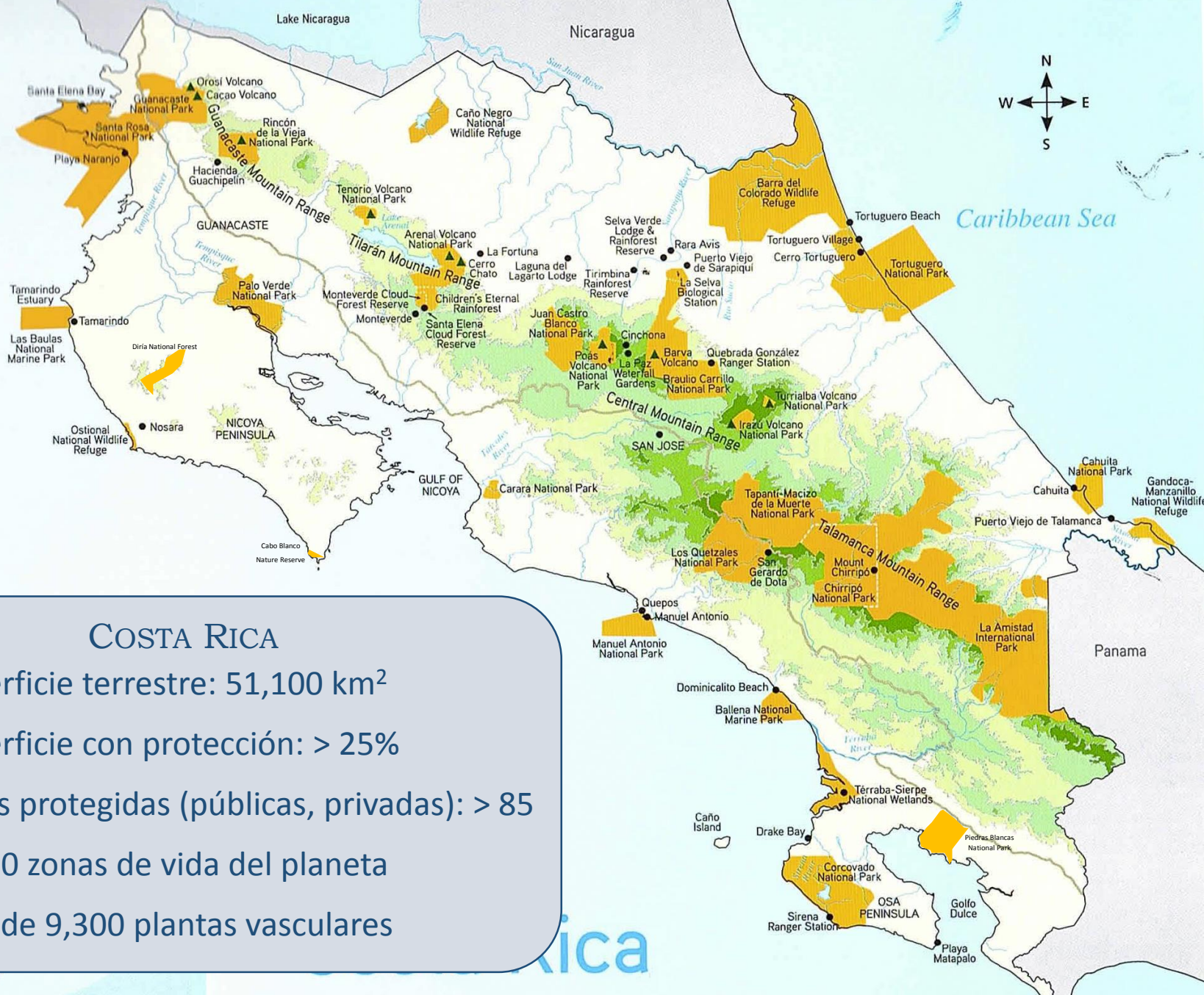
en 1992, camino a la UNCED de Río de Janeiro
el Señor Ministro de Costa Rica nos declaró:

“Hemos podido proteger las playas (por los ingresos del turismo) y las altas cumbres (por ser fuentes de agua para las ciudades).

Somos conscientes de la importancia de la franja intermedia para la conservación de la biodiversidad, pero denos información sobre el qué, cómo y para qué?”

Lecturas adicionales: Cardinale et al. 2012, Schaal 2019

Tscharntke et al. 2012, Wilson 2016, WRI et al. 1992



COSTA RICA

- superficie terrestre: 51,100 km²
- superficie con protección: > 25%
- áreas protegidas (públicas, privadas): > 85
- 12/30 zonas de vida del planeta
- más de 9,300 plantas vasculares

Fuentes: Basco & Kazmier 2015, Herrera 1985, 2000, Maps.com 2006, Zamora et al. 2004

modificado de Basco & Kazmier 2015

PLAN

1. Prólogo: palabras del Señor Ministro

2. Parientes silvestres:

Qué representan frente a las plantas cultivadas?

Qué fue la domesticación y en qué afectó la diversidad genética de las especies?

Qué nos aportan estos silvestres?

mejor entendimiento de las plantas cultivadas

características útiles: las esperadas y las no esperadas

3. Desafíos que presentan los silvestres

desconocimiento, potencial aún poco estudiado, valoración, conservación

4. Implementando una agenda en Centroamérica

inventario en áreas protegidas, manejo de baldíos, compra de terrenos, manejo

5. Observaciones finales

Importancia de la protección de cultivos



agente causal	presencia	pérdida (%)
sequía	+/- global	10-100
BCMV	global	50-70
tizón	+/- global	20-50
antracnosis	+/- global	10-100
pudrición radicular	+/- global	10-90
roya	global	40-80
gorgojos	global	10-40
chicharrita	+/- global	10-100

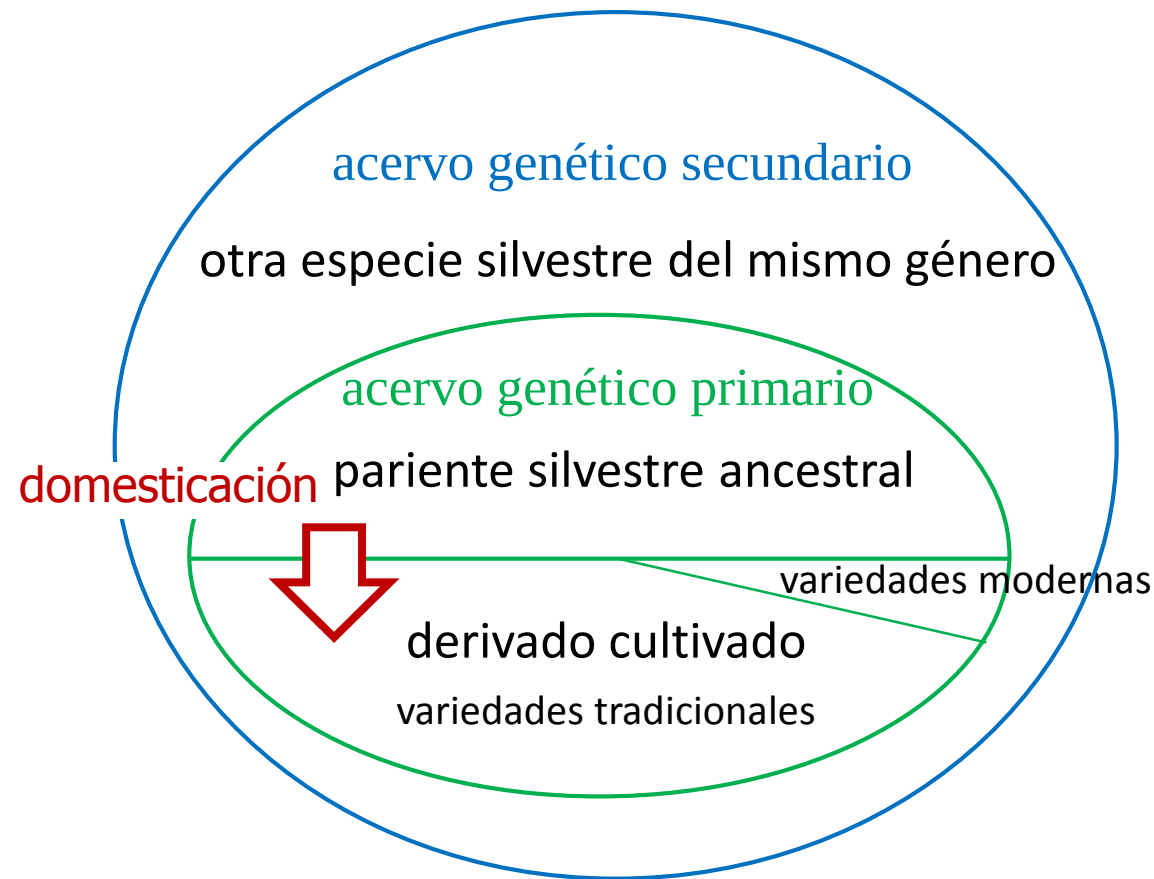
según Singh 1999

Importancia de la protección de cultivos

SOLUCIONES:

1. Solución ‘precolombina’: disminuir la densidad de planta hospedera/ Ha. cultivada en contravía del actual contexto demográfico y técnico-económico del cultivo
2. Solución tecno-química: usar el arsenal de fungicidas y plaguicidas
riesgos potenciales o reales para la salud humana y/o ambiental; repetición
3. Solución biológica: identificar resistencias y transferirlas vía mejoramiento
implica conocimientos; segura para salud humana; resistencia puede perderse
4. Solución biológica: usar los enemigos naturales de las plagas y enfermedades
implica mucho conocimiento; resultado puede ser variable; afuera de origen

Los parientes silvestres y el concepto de acervo genético



- barrera reproductiva
- diferencias entre los dos: morfológicas y al nivel de cromosomas: inversiones, duplicaciones

- libre intercambio génico
- diferencias entre los dos: morfo-fisiológicas y con relación a la parte cosechada y/o el manejo

Cada cultivo americano deriva de un silvestre

cultivo	pariente silvestre	no. sp. género	fuelle
algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	39	Brubaker & Wendel 1994
ayote	<i>Cucurbita moschata</i>	20	Sanjur et al. 2002
cacao	<i>Theobroma cacao</i>	22	Cornejo et al. 2018
chile	<i>Capsicum annuum</i> var. <i>gabriusculum</i>	35	Kraft et al. 2014
cubá	<i>Phaseolus dumosus</i>	81	Debouck 2021
fríjol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	81	Kwak et al. 2009
girasol	<i>Helianthus annuus</i>	50	Heiser 1995
maíz	<i>Zea mays</i> subsp. <i>parviglumis</i>	10	Moreno-Letelier et al. 2020
maní	(1/2) <i>Arachis duranensis</i>	69	Kochert et al. 1996
papa	<i>Solanum brevicaule</i>	~ 128	Spooner et al. 2005
pipián	<i>Cucurbita argyrosperma</i> ssp. <i>sororia</i>	20	Lira et al. 2016
tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i> v. <i>cerasiforme</i>	10	Blanca et al. 2012
yuca	<i>Manihot esculenta</i> subsp. <i>flabellifolia</i>	98	Duputié et al. 2011

Único en el reino vegetal !

Género	Especies	Total
<i>Annona</i>	<i>cherimoya, diversifolia, muricata, scleroderma, squamosa</i>	5
<i>Capsicum</i>	<i>annuum, baccatum, chinense, frutescens, pubescens</i>	5
<i>Cucurbita</i>	<i>argyrosperma, ficifolia, maxima, moschata, pepo,</i>	5
<i>Phaseolus</i>	<i>acutifolius, coccineus, dumosus, lunatus, vulgaris</i>	5 (7)
<i>Solanum</i>	Petota: <i>ajanhuiri, chaucha, curtilobum, juzepczukii, phureja, stenotomum, tuberosum</i>	7

fuentes: Hawkes 1990; Debouck & Smartt 1995; Heiser 1995; Madheem 1992; Pickersgill 2007

y varios géneros con 2 especies, a menudo una en Mesoamérica , la otra en los Andes: *Amaranthus*, *Canavalia*, *Chenopodium*, *Gossypium*, *Helianthus*, *Pachyrrhizus* (3), *Physalis*, *Solanum* (sect. *Lasiocarpa*)

- prueba que se intentó domesticar muchas plantas en muchas familias
- estas familias contienen muchas arvenses, colonizando espacios baldíos
- la agricultura pre-colombina arrancó con una modificación ambiental

Algunas características de las domesticaciones americanas



- domesticación de la calabaza: 10,000 años a.P.
- aparición de la metalurgia en tierras bajas de México 1,200 años a.P.
- ausencia de animales de tiro
- dominio del fuego para la ‘roza-tumba’
- es una horti-cultura donde:
cada semilla es sembrada individualmente
- escasez de mano de obra; participan familia y otros en siembra + cosecha

➡ gigantismo, selección ‘estética’ y reduccionista (efecto fundador), poliproducción

Consecuencia de haber sembrado semilla de un frijol silvestre afuera del rango
= reducción de la diversidad genética en el silvestre ya “cultivado”

Marcador	Autores
proteína reserva semilla, faseolina	Koenig et al. 1990
enzima semilla α -amilasa	Ishimoto et al. 1995
RFLPs sobre 12 sondas de ADN genómico	Becerra-Velásquez & Gepts 1994
RFLPs sobre secuencias relacionadas a M13	Sonnante et al. 1994
AFLPs de ADN genómico con 4 combinaciones de cebadores	Papa & Gepts 2003
Haplotipos de 10 regiones no codificantes de ADN cloroplástico	Chacón-Sánchez et al. 2005
26 microsatélites de los 11 grupos de ligamientos; ADN genómico	Kwak & Gepts 2009
secuencias de nucleótidos de 5 genes nucleares	Bitocchi et al. 2013

Marcador	Reducción	Fuente	Marcador	Reducción	Fuente
10 regiones cpDNA	38-55%	Chacón et al. 2005	2506 AFLPs	16%	Papa et al. 2007
26 microsatélites	9-11%	Kwak & Gepts 2009	5 regiones génicas	27-72%	Bitocchi et al. 2013

Consecuencia para el fitomejoramiento: varias características útiles jamás fueron incluidas en los acervos cultivados porque la domesticación no tocó estos silvestres

La domesticación del maíz

teocintle subsp. *parviglumis* es el único ancestro del maíz

domesticación del teocintle arranca hace 9,000 años en W Guerrero o S Jalisco

fríjol mesoamericano

W Jalisco

maíz

W Guerrero



maíz está como fósil en Panamá hace 7,000 años

maíz está como fósil en Colombia hace 7,000 años

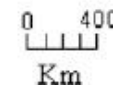
maíz está en Qda. Humahuaca hace 4,500 años

maíz hace 4,000 años

4-6 cm

fuentes: Dickau et al. 2015; Grobman & Bonavia 1978; Long et al. 1989; Mangelsdorf et al. 1967

Moreno et al. 2020; Pearsall 1992; Piperno et al. 2009; Ránere et al. 2009



La doble domesticación del frijol



acervo Mesoamericano

arranca ~ 8,200 años a.P.

peso 100 sem: 7X

razas: Mesoamérica, Durango, Jalisco

acervo Andino

arranca ~ 8,500 años a.P.

peso 100 sem: 13X

razas: Nueva Granada, Perú, Chile



PLAN

1. Prólogo: palabras del Señor Ministro

2. Parientes silvestres:

Qué representan frente a las plantas cultivadas?

Qué fue la domesticación y en qué afectó la diversidad genética de las especies?

Qué nos aportan estos silvestres?

mejor entendimiento de las plantas cultivadas

características útiles: las esperadas y las no esperadas

3. Desafíos que presentan los silvestres

desconocimiento, potencial aún poco estudiado, valoración, conservación

4. Implementando una agenda en Centroamérica

inventario en áreas protegidas, manejo de baldíos, compra de terrenos, manejo

5. Observaciones finales

Costo de la uniformidad genética: caso de la papa

Phytophthora infestans

tizón tardío

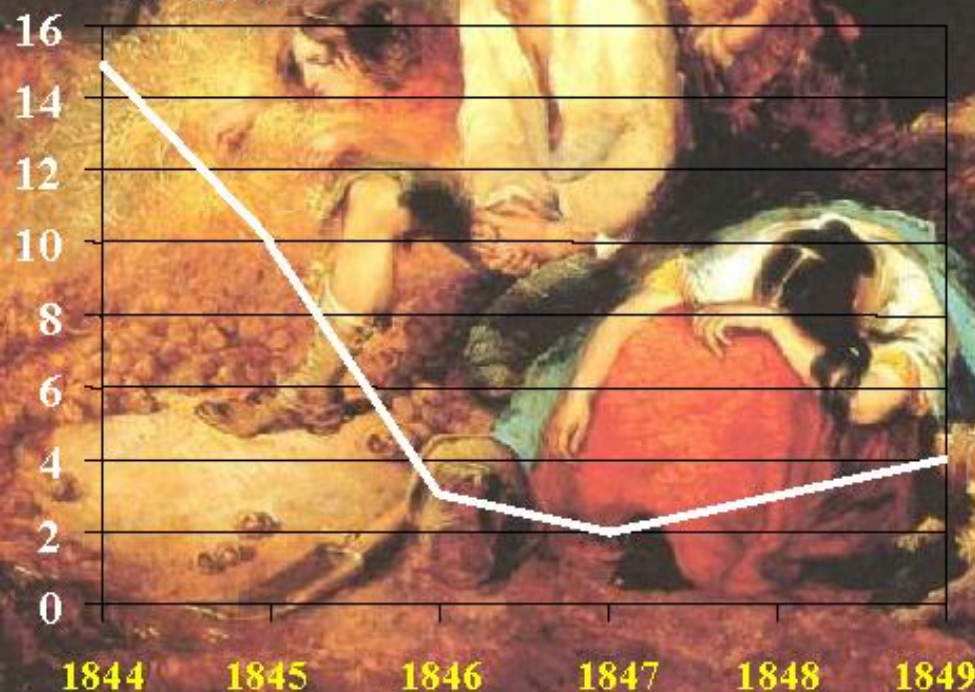


población de Irlanda

en 1844:	8,500,000
murió:	1,100,000 (13%)
emigró:	1,800,000 (21%)

fuente: Gray 1995

mi M. T.



El camino a la solución . . .

en 1850-1910 introducción de clones de
ssp. tuberosum (4X) desde Chile

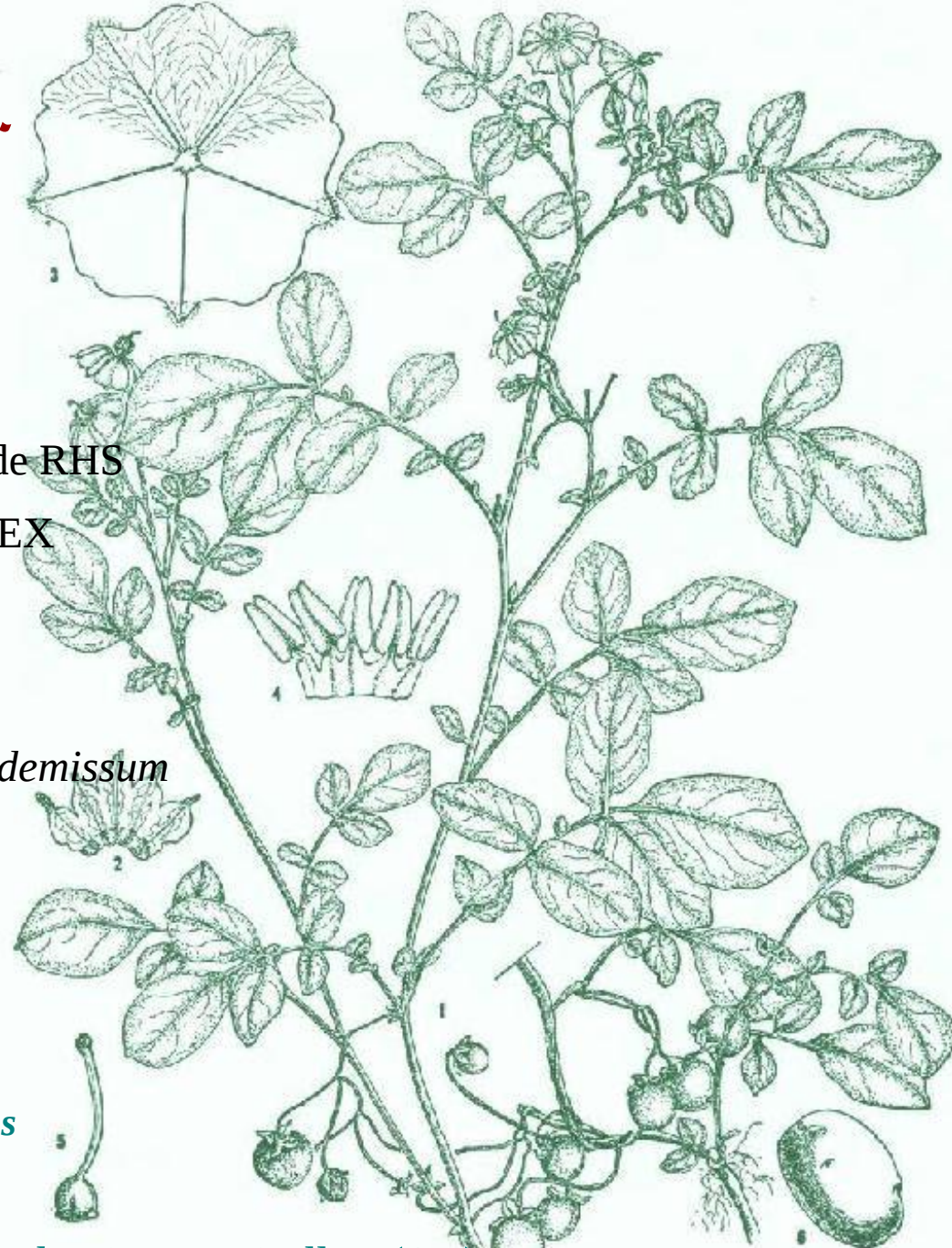
demissum descrito en 1848 en el jardín de RHS
a partir de tubérculos enviados desde MEX
'papa cimarrona'

Salaman (1908) encontró resistencia en *demissum*

1^{ra} variedad con genes de *demissum* :
'Sandnudel' (1934)

demissum: sotobosque de bosques de *Pinus*

Eje Volcánico, Cuchumatanes



Solanum demissum Lindley (6X)

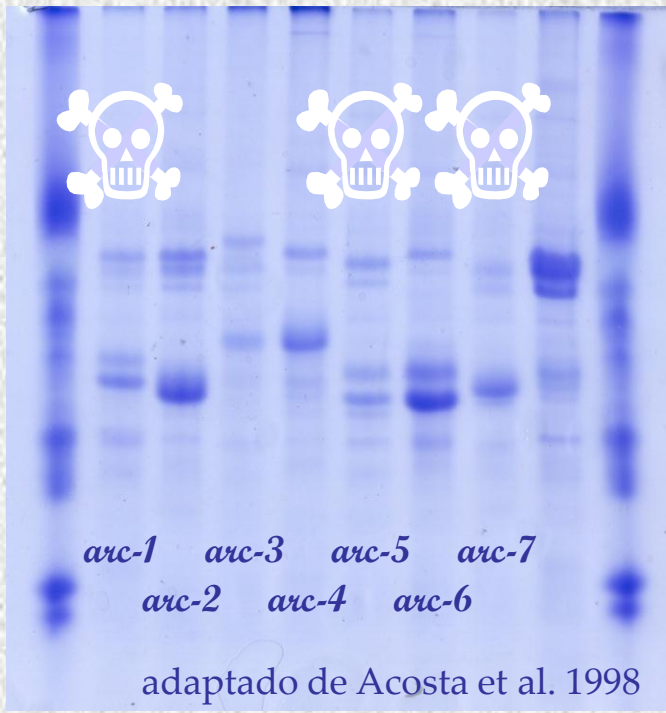
fuelle: Correll 1962

ejemplo: las resistencias a las enfermedades/ plagas en papa

Enfermedad/ plaga	Especies silvestres aportando la resistencia
Virus PLRV	<i>acaule, brevidens, raphanifolium</i>
Virus PVX	<i>acaule, sucrense, vernei</i>
Virus PVY	<i>chacoense, demissum, stoloniferum</i>
<i>Erwinia carotovora</i>	<i>bulbocastanum, hjertingii, leptophyes, microdontum</i>
<i>Pseudomonas solanacearum</i>	<i>microdontum, sparsipilum</i>
<i>Phytophthora infestans</i>	<i>demissum, microdontum, tarijense, vernei, verrucosum</i>
<i>Synchytrium endobioticum</i>	<i>acaule, sparsipilum, spegazzinii</i>
nemátodos <i>Globodera</i> p. y r.	<i>gourlayi, lignicaule, sparsipilum, spegazzinii, vernei</i>
nemátodo <i>Meloidogyne incog.</i>	<i>chacoense, microdontum, sparsipilum</i>
pulgón <i>Myzus persicae</i>	<i>berthaultii</i>
polilla <i>Phthorimaea</i>	<i>chacoense</i>
escarabajo <i>Leptinotarsa dec.</i>	<i>chacoense, demissum</i>

ejemplo: las arcelinas del frijol silvestre (1)

- colectado en Gro., México a “espaldas” del donante
- obtenido en CIAT en 1976 por intercambio
- evaluado contra gorgojos en 1978-1980
- la larva del gorgojo **no** se desarrolla en presencia de *arc-1*, *arc-5*, *arc-7*



- lleva su propio ‘insecticida’ (antibiosis)
- la arcelina cambia en la cocción
- sólo pocas poblaciones en W de México de los ~8,000 km en las Américas
- sólo 20% plantas en poblaciones originales

ejemplo: las arcelinas del frijol silvestre (2)

- se evaluaron 11,000 variedades cultivadas y NADA
- estos silvestres no fueron domesticados
- la resistencia $> 3,000$ km no pasó por flujo génico
- los otros métodos de control no tóxicos (ceniza, aceite) poco efectivos
- permite al agricultor guardar su cosecha/semilla
- permite al agricultor vender en mejor momento
- el mejoramiento se hace mediante marcadores
- el beneficio \$ no ha sido calculado; se da principalmente en el trópico $< 2,000$ msnm

ejemplo: los híbridos en girasol (*Helianthus*) (1)



- se encontró una CMS en un cruce *H. petiolaris* x *H. annuus* en 1969
- se tiene hoy ocho CMS derivadas de seis especies/ formas silvestres

ejemplo: los híbridos en girasol (*Helianthus*) (2)



- heterosis en F1: 60-140 % en rdto *versus* poblaciones
- problema: producción de semillas híbridas:
un capítulo puede tener hasta 3,000 flores diminutas
- idea: que las abejas produzcan las semillas híbridas!
- implicación: 1) plantas sin polen (CMS) serán cosechadas
CMS: para que el inductor no esté en cromosomas
- 2) plantas que aportan polen: restoración de fertilidad + vigor híbrido
- fuentes de CMS: *H. annuus* silvestre, *bolanderi*, *exilis*, *giganteus*, *lenticularis*, *maximiliani*, *niveus*, *petiolaris*
- explotación de mecanismos naturales que causan alogamia en *Helianthus*
- silvestres como fuentes de resistencia a: *Plasmopara*, *Sclerotinia*, *Phomopsis*
- beneficios anuales derivados de silvestres de *Helianthus*: \$267-384 mi

ejemplo: caracteres aportados por silvestres en tomate (Lycopersicon)

Especies	Estrés biótico	Estrés abiótico	Tecnológico
<i>cerasiforme</i>	6 (bacterial spot, anthracnose, leaf mold, root rot, Septoria spot, Verticillium wilt)		
<i>cheesmanii</i>	1 (TYLCV)	1 (salinidad)	1 ('jointless')
<i>chmielewskii</i>			1 (sólidos solubles)
<i>hirsutum</i>	7 (bacterial canker, collar rot, Didymella canker, Phoma blight, Septoria spot, TYLCV, potato cyst nematode)	1 (baja T°C)	1 (provitamina A)
<i>pennellii</i>		2 (sequía, salinidad)	
<i>peruvianum</i>	9 (bacterial canker, collar rot, corky root, Verticillium wilt, CMV, BCTV, TMV, TYLCV, root-knot nematode)		1 (vitamina C)
<i>pimpinellifolium</i>	12 (bacterial canker, bacterial wilt, collar rot, target leaf spot, late blight, fruit rot, Septoria spot, gray leaf spot, TSMV, TYLCV, sugarbeet nematode)	1 (alta T°C)	1 (vitamina C)

ejemplo: los caracteres tecnológicos en tomate (*Lycopersicon*)

revelados por el “advanced backcross QTL analysis” con *L. pennellii* y *L. pimpinellifolium*

- rendimiento: afectado por 6 QTLs; en cromosoma 9, *pen* alelo da +86%, **pero** los otros 5 QTLs en cromosomas 3, 5, 8 y 12 contribuyen entre – 71% a – 128%
- sólidos solubles en fruto: afectados por 12 QTLs; en cromosoma 7, *pim* alelo da +18% y en cromosoma 12, *pen* alelo da +48%
- peso de fruto: afectado por 8 QTLs; en cromosoma 9, *pim* alelo da +14%, **pero** en 7 QTLs como esperado *pim* alelo da reducción, en cromosoma 2, hasta -38%
- color de fruto: afectado por 5 QTLs; en cromosoma 2, *pim* alelo da +36%, **pero** reduce tamaño de fruto en 38%!
- pericarpio de fruto: afectado por 2 QTLs; en cromosoma 12, *pen* alelo da +16%
- aire en tejidos de fruto: afectado por 4 QTLs; en cromosoma 2, *pen* alelo da +90%

Un rfg puede tener un valor determinante para cierto uso

Caso de *Lycopersicon chmielewskii* Rick

Apurimac, 21 de diciembre de 1962



Iltis & Ugent 832



Rick 1974: sólidos solubles en tomates comerciales: 7.5 %

Rick 1974: sólidos solubles en este número: 11.5 %

costo a la National Science Foundation: \$ 21

ganancia para la industria procesadora : \$ 8,000,000 / año

fuentes : Iltis 1988

Lecciones de estos casos

- para varios cultivos, hoy, sin los silvestres, no hay cosecha
- las ventajas de los silvestres pueden depender sólo de la variación natural
- estas ventajas no corresponden sistemáticamente a presiones de selección aunque hay casos claros (salinidad, T°C) de respuesta a presiones de selección
- por las resistencias, la selección se basó sobre los fenotipos, menos sobre el aporte del genotipo en cruza; no se valoró el papel completo de los silvestres
- los beneficios \$ de los silvestres a menudo dependen de circunstancias externas
- estos beneficios \$ son **reales**, aunque muchas veces con fecha impredecible
- los beneficios \$ de los silvestres pueden tardar en materializarse, y claro se necesita una larga cadena de I & D muchas veces trans-fronteriza
- no cuadra ni es sostenible “privatizar los beneficios y socializar los costos”

1

Desafíos que plantean los silvestres: aún llegan nuevas sp.!

género (no. sp)	nombre	especie	sitio	año
<i>Capsicum</i> (35)	ají	<i>ceratocalyx</i>	Bolivia, La Paz	2006
<i>Ipomoea</i> (~ 600)	batata	<i>gilana</i>	USA, New Mexico	2017
<i>Lycopersicon</i> (10)	tomate	<i>huaylasense</i>	Perú, Ancash	2005
<i>Manihot</i> (98)	yuca	<i>scandens</i>	Brasil, Mato Grosso	2016
<i>Oxalis</i> (~ 800)	oca	<i>chachahuensis</i>	Argentina, Mendoza	2004
<i>Passiflora</i> (~ 150)	gulupa	<i>gustaviana</i>	Colombia, Cundinamarca	2017
<i>Phaseolus</i> (81)	fríjol	<i>albicarminus</i>	Costa Rica, San José	2020
<i>Psidium</i> (~ 100)	guayaba	<i>bahianum</i>	Brasil, Bahía	2008
<i>Zea</i> (9)	maíz	<i>vespertilio</i>	Costa Rica, Guanacaste	2013

fuentes: Alfonso et al. 2004, Debouck et al. 2020, Gómez-Laurito 2013, Inocencio & Silva 2016, Keith et al. 2017
Landrum & Funch 2008, Nee et al. 2006, Ocampo-Pérez & Molinari 2017, Peralta et al. 2005

2 Desafíos que plantean los silvestres: conservación no adecuada?!



Deforestación N Cerro Anguciana

Distribución de *Phaseolus angucianae*



Deforestación Cuenca Río División

Distribución de *Phaseolus hygrophilus*

Es el uso actual (modificado) del suelo sostenible? Ganancia particular *versus* colectiva?

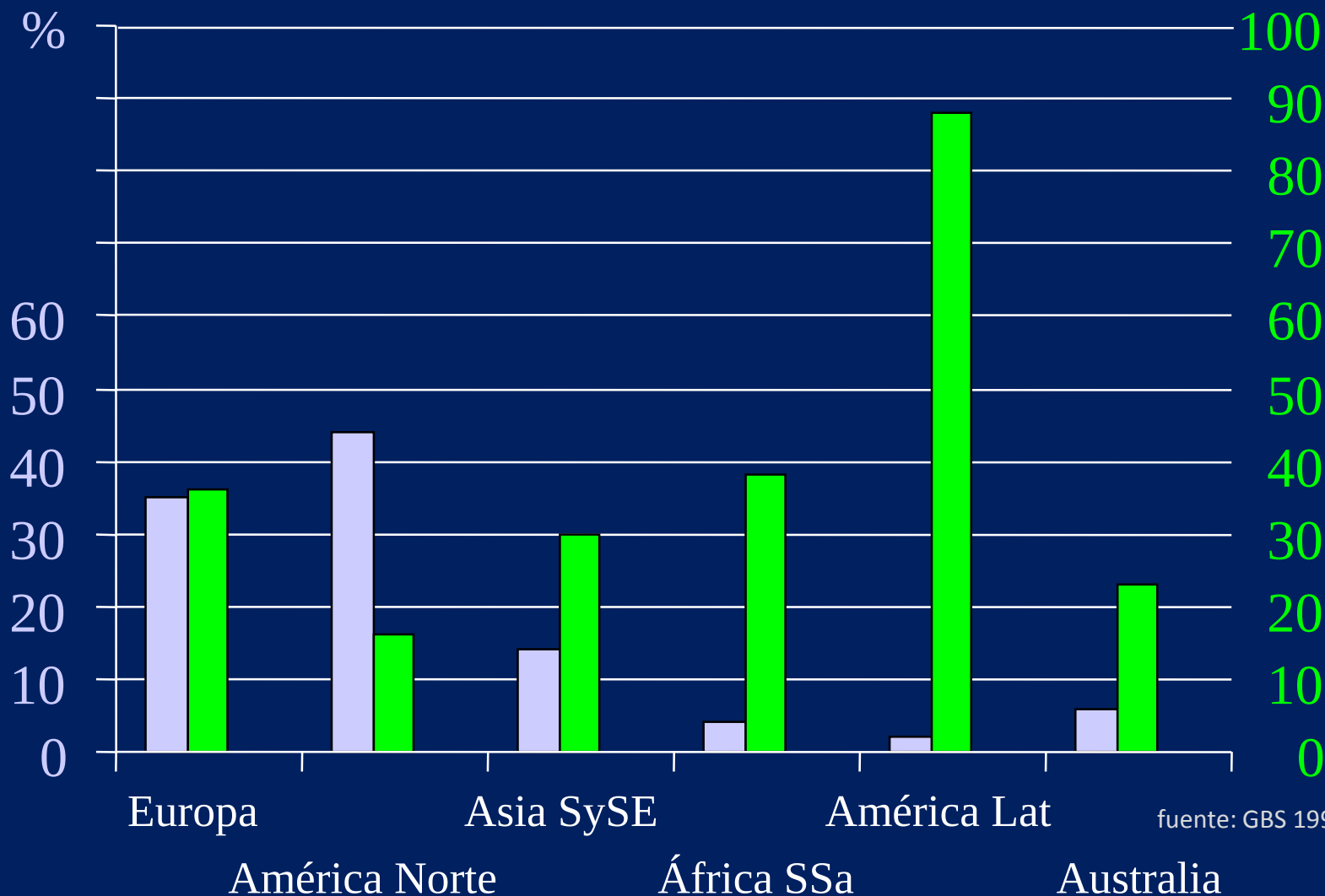
Llega la información al utilizador del predio? Tiene un incentivo para modificar poco?

3

Desafíos que plantean los silvestres: dónde está la gente?

Ecólogos/ profesionales

Número plantas vasculares (,000)



fuente: GBS 1992

4 Desafíos que plantean los silvestres: plan de manejo!



Cultivo de papa en el Parque Nacional Volcán Barú, Panamá, enero de 2019

Desafíos para la conservación de silvestres *in situ*:

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

Archipiélago de Bermuda: ~30 islas; 52 km²; 72,000 habitantes; densidad 1,385 personas/ km²

→ \$ \$ \$

el frijol de Bermuda produjo
6,768 semillas en CIAT!

(Debouck 2015)



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

Observaciones finales

- desconocer el capital biológico no es la solución: es pérdida neta de opciones
- dilema: varios de los cultivos rentables como café o caña son foráneos
- hacer inventarios en áreas protegidas actuales → aumentar relevancia social
- comprar terreno para establecer reservas genéticas para las poblaciones donde ya se identificaron características útiles, y para las endémicas
- conservar unas accesiones *ex situ* para conocer el potencial de uso → valor
- intentar el centavo sobre productos de masa (azúcar, café) para esta conservación

Referencias (1)

- Acosta-Gallegos, J.A., C. Quintero, J. Vargas, O. Toro, J. Tohme & C. Cardona. 1998. A new variant of arcelin in wild common bean, *Phaseolus vulgaris* L., from southern Mexico. *Genet. Resources & Crop Evol.* 45 (3): 235-242.
- Alfonso, G.L., A.O. Prina & W.A. Muiño. 2004. Una nueva especie del género *Oxalis* (Oxalidaceae) para la provincia de Mendoza, Argentina. *Hickenia* 3 (51): 213-216.
- Baker, C.P. 2006. The National Geographic traveler: Costa Rica. 2nd edition. National Geographic Society. Washington, D.C., USA. 271p.
- Basco, G. & R. Kazmier. 2015. National Parks of Costa Rica. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA. 298p.
- Becerra-Velásquez, V.L. & P. Gepts. 1994. RFLP diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in its centres of origin. *Genome* 37 (2): 256-263.
- Berville, A. 1988. Bilan de l'action: analyse et exploitation de la variabilité génétique du genre *Helianthus* pour l'amélioration du tournesol cultivé. in: "Variabilité génétique cytoplasmique et stérilité mâle cytoplasmique", A. Berville (ed.), Colloques de l'INRA 45, INRA, Paris, France. Pp. 83-94.
- Bitocchi, E., E. Bellucci, A. Giardini, D. Rau, M. Rodríguez, E. Biagetti, R. Santilocchi, P. Spagnoletti-Zeuli, T. Gioia, G. Logozzo, G. Attene, L. Nanni & R. Papa. 2013. Molecular analysis of the parallel domestication of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) in Mesoamerica and the Andes. *New Phytol.* 197 (1): 303-313.
- Blanca, J., J. Cañizares, L. Cordero, L. Pascual, M.J. Diez & F. Nuez. 2012. Variation revealed by SNP genotyping and morphology provides insight into the origin of tomato. *PLoS ONE* 7 (10): 1-17 (e48198).
- Brubaker, C.L. & J.F. Wendel. 1994. Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*, Malvaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *Amer. J. Bot.* 81 (10): 1309-1326.
- Brewbaker, J.L. 1979. Diseases of maize in the wet lowland tropics and the collapse of the classic Maya civilization. *Econ. Bot.* 33 (2): 101-118.
- Cardinale, B.J., J.E. Duffy, A. Gonzalez, D.U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G.M. Mace, D. Tilman, D.A. Wardle, A.P. Kinzig, G.C. Daily, M. Loreau, J.B. Grace, A. Larigauderie, D.S. Srivastava & S. Naeem. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.
- Cardona, C., J. Kornegay, C.E. Posso, F. Morales & H. Ramírez. 1990. Comparative value of four arcelin variants in the development of dry bean lines resistant to the Mexican bean weevil. *Entomol. Exp. Appl.* 56: 197-206.
- Carson, R. 2002. Silent spring. Fortieth anniversary edition. Houghton Mifflin Company. Boston, Massachusetts, USA. 378p.
- Chacón-Sánchez, M.I., B. Pickersgill & D.G. Debouck. 2005. Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races. *Theor. Appl. Genet.* 110 (3): 432-444.

Referencias (2)

- Chaïb, J., L. Lecomte, M. Buret & M. Causse. 2006. Stability over genetic backgrounds, generations and years of quantitative trait locus (QTLs) for organoleptic quality in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 112 (5): 934-944.
- Clawson, D.L. 1985. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Econ. Bot.* 39 (1): 56-67.
- Coe, M., D. Snow & E. Benson. 1986. *Atlas of Ancient America*. Equinox Books. Oxford, England. 240p.
- Cook, O.F. 1919. Milpa agriculture, a primitive tropical system. *Smithsonian Inst. Washington Annu. Rept.* Pp. 307-326.
- Cornejo, O.E., M.-C. Yee, V. Dominguez, M. Andrews, A. Sockell, E. Strandberg, D. Livingstone III, C. Stack, A. Romero, P. Umaharan, S. Royaert, N.R. Tawari, P. Ng, O. Gutiérrez, W. Phillips, K. Mockaitis, C.D. Bustamante & J.C. Motamayor. 2018. Population genomic analyses of the chocolate tree, *Theobroma cacao* L., provide insights into its domestication process. *Communications Biology* 1, 167: 1-12.
- Correll, D.S. 1962. *The potato and its wild relatives*. Texas Research Foundation. Renner, Texas, USA. 606p.
- Day-Rubenstein, K., P. Heisey, R. Shoemaker, J. Sullivan & G. Frisvold. 2005. Crop genetic resources: an economic appraisal. United States Department of Agriculture, Economic Information Bull. 2. 41p.
- 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.
- Debouck, D.G. 2016. Your beans of the last harvest and the possible adoption of bright ideas. *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. 367-387.
- Debouck, D.G. 2017. Domesticaciones americanas: cuando la recursividad humana con ayuda de algunas plantas hace maravillas contra el peso de la geografía y de la migración original. *in*: “Domesticación en el continente americano: investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo”, vol. 2, chapt. 5, A. Casas, J. Torres-Guevara and F. Parra (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, Mexico. Pp. 135-149.
- Debouck, D.G. 2021. *Phaseolus* beans (Leguminosae, Phaseoleae): a checklist and notes on their taxonomy and ecology. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 15 (1): *in press*.
- Debouck, D.G., R. Araya-Villalobos & N. Chaves-Barrantes. 2018. *Phaseolus anguciana* (Leguminosae, Phaseoleae), a new bean species from Fila Cruces of southeastern Costa Rica. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 12 (2): 507-520.
- Debouck, D.G., N. Chaves-Barrantes & R. Araya-Villalobos. 2020. *Phaseolus albicarminus* (Leguminosae, Phaseoleae), a new wild bean species from the subhumid forests of southern central Costa Rica. *Phytotaxa* 449 (1): 1-14.
- Debouck, D.G. & J. Smartt. 1995. Beans, *Phaseolus* spp. (Leguminosae-Papilionoideae). *in*: “Evolution of crop plants”, J. Smartt & N.W. Simmonds (eds.), Second Edition, Longman Scientific & Technical, London, United Kingdom. Pp. 287-294.

Referencias (3)

- Dickau, R., F.J. Aceituno, N. Loaiza, C. López, M. Cano, L. Herrera, C. Restrepo & A.J. Ranere. 2015. Radiocarbon chronology of terminal Pleistocene to middle Holocene human occupation in the Middle Cauca Valley, Colombia. *Quaternary International* 363: 43-54.
- Duputié, A., J. Salick & D. McKey. 2011. Evolutionary biogeography of *Manihot* (Euphorbiaceae), a rapidly radiating Neotropical genus restricted to dry environments. *J. Biogeogr.* 38 (6): 1033-1043.
- 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.
- Frary, A., T.M. Fulton, D. Zamir & S.D. Tanksley. 2004. Advanced backcross QTL analysis of a *Lycopersicon esculentum* x *L. pennellii* cross and identification of possible orthologs in the Solanaceae. *Theor. Appl. Genet.* 108 (3): 485-496.
- Friedman, T.L. 2009. Hot, flat, and crowded. Why we need a green revolution, and how it can renew America. Release 2.0. Picador, Farrar, Straus and Giroux. New York, New York, USA. 516p.
- Gepts, P. 2004. Who owns biodiversity, and how should the owners be compensated? *Plant Physiol.* 134 (4): 1295-1307.
- 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. 2003. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environ. Biosafety Res.* 2: 89-103.
- Gómez-Laurito, J. 2013. A new species of *Zea* (Poaceae) from the Murciélago Islands, Santa Elena Peninsula, Guanacaste, Costa Rica. *Brenesia* 80: 36-39.
- Gray, P. 1995. The Irish famine. Discoveries. Harry N. Abrams Inc., Publishers. New York, New York, USA. 191p.
- Grobman, A. & D. Bonavia. 1978. Pre-ceramic maize on the north-central coast of Peru. *Nature* 276 (5686): 386-387.
- Hajjar, R. & T. Hodgkin. 2007. The use of wild relatives in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years. *Euphytica* 156 (1-2): 1-13.
- Harlan, J.R. 1972. Genetics of disaster. *J. Environ. Quality* 1(3): 212-215.
- 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. & 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.

Referencias (4)

- Hawkes, J.G. 1990. The potato - Evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press. London, United Kingdom. 259p.
- Heiser, C.B. 1976. The sunflower. The University of Oklahoma Press. Norman, Oklahoma, USA. 198p.
- Heiser, C.B. 1995. Sunflowers, *Helianthus* (Compositae). in: "Evolution of crop plants. 2nd edition", J. Smartt & N.W. Simmonds (eds.). Longman Scientific & Technical. London, United Kingdom. Pp. 449-451.
- Heiser, C.B. 1995. Peppers, *Capsicum* (Solanaceae). in: "Evolution of crop plants. 2nd edition", J. Smartt & N.W. Simmonds (eds.). Longman Scientific & Technical. London, United Kingdom. Pp. 449-451.
- Herrera, W. 1985. Clima de Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 118p.
- Iltis, H.H. 1988. Serendipity in the exploration of biodiversity: what good are weedy tomatoes? in: "Biodiversity", E.O. Wilson (ed.). National Academy Press. Washington, D.C., USA. Pp. 98-105.
- Inocencio, L.S. & M.J. Silva. 2016. A vine-like species of *Manihot* (Euphorbiaceae) from the state of Mato Grosso, Brazil. Syst. Bot. 41 (4): 983-988.
- Ishimoto, M., K. Suzuki, M. Iwanaga, F. Kikuchi & K. Kitamura. 1995. Variation of seed α -amylase inhibitors in the common bean. Theor. Appl. Genet. 90 (3-4): 425-429.
- Keith, K., R.A. Stamler, J.J. Randall, K.E. Perez & J.A. McDonald. 2017. *Ipomoea gilana*: a new endemic morning glory (Ipomoeae, Convolvulaceae) in the Gila National Forest, New Mexico. Syst. Bot. 42 (4): 1-5.
- Kelly, J. 2012. The graves are walking: the great famine and the saga of the Irish people. Henry Holt and Company, LLC. New York, New York, USA. 397p.
- Khoury, C.K., D. Carver, S.L. Greene, K.A. Williams, H.A. Achicanoy, M. Schori, B. León, J.H. Wiersema & A. Frances. 2020. Crop wild relatives of the United States require urgent conservation action. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 117 (52): 33351-33357.
- Khush, G.S. & K.C. Ling. 1974. Inheritance of resistance to grassy stunt virus and its vector in rice. J. Hered. 65: 134-136.
- Kochert, G., H.T. Stalker, M. Gimenes, L. Galgaro, C. Romero-Lopes & K. Moore. 1996. RFLP and cytogenetic evidence on the origin and evolution of allotetraploid domesticated peanut, *Arachis hypogea* (Leguminosae). Amer. J. Bot. 83 (10): 1282-1291.
- Koenig, R.L., S.P. Singh & P. Gepts. 1990. Novel phaseolin types in wild and cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Econ. Bot. 44 (1): 50-60.
- Kraft, K.H., C.H. Brown, G.P. Nabhan, E. Luedeling, J.J. Luna-Ruiz, G. Coppens d'Eeckenbrugge, R.J. Hijmans & P. Gepts. 2014. Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 111 (17): 6165-6170.

Referencias (5)

- Kwak, M. & P. Gepts. 2009. Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). *Theor. Appl. Genet.* 118 (5): 979-992.
- Kwak, M., J.A. Kami & P. Gepts. 2009. The putative Mesoamerican domestication center of *Phaseolus vulgaris* is located in the Lerma-Santiago basin of Mexico. *Crop Sci.* 49 (2): 554-563.
- Landrum, L.R. & L.S. Funch. 2008. Two new species of *Psidium* (Myrtaceae) from Bahia, Brazil. *Novon* 18 (1): 74-77.
- Laterrot, H. 1989. La tomate – Intérêt et utilisation des espèces sauvages pour la création variétale. *Rev. Hortic.* 295: 3-7.
- Leclercq, P. 1969. Une stérilité mâle cytoplasmique chez le tournesol. *Ann. Amélior. Plantes* 19: 99-106.
- Leclercq, P. 1988. Restaurateurs et mainteneurs de 8 stérilités mâles cytoplasmiques chez le tournesol. *in*: “Variabilité génétique cytoplasmique et stérilité mâle cytoplasmique”, A. Berville (ed.), Colloques de l’INRA 45, INRA, Paris, France. Pp. 75-81.
- Lira, R., L. Eguiarte, S. Montes, D. Zizumbo-Villareal, P. Colunga-GarcíaMarín & M. Quesada. 2016. *Homo sapiens-Cucurbita* interaction in Mesoamerica: domestication, dissemination, and diversification. *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. 389-401.
- Long, A., B.F. Benz, D.J. Donahue, A.J.T. Hull & L.J. Toolin. 1989. First direct AMS dates on early maize from Tehuacán, Mexico. *Radiocarbon* 31 (3): 1035-1040.
- Madheem, H. 1992. *Anonas (Annona spp.)*. *in*: “Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492”, E. Hernández-Bermejo & J. León (eds.). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Pp. 83-90.
- Mamidi, S., M. Rossi, D. Annam, S. Moghaddam, R. Lee, R. Papa & P. McClean. 2011. Investigation of the domestication of common bean (*Phaseolus vulgaris*) using multilocus sequence data. *Functional Plant Biol.* 38 (12): 953-967.
- Mangelsdorf, P.C., R.S. MacNeish & W.C. Galinat. 1967. Prehistoric wild and cultivated maize. *in*: “Environment and subsistence”, D.S. Byers (ed.). The prehistory of the Tehuacan valley. Volume One. University of Texas Press. Austin, Texas, USA. Pp. 178-200.
- McNeill, W.H. 1998. *Plagues and peoples*. Anchor Books. Random House, Inc., New York, New York, USA. 365p.
- 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 (191545).
- Myers, N., R.A. Mittermeir, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca & J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

Referencias (6)

- Nee, M., L. Bohs & S. Knapp. 2006. New species of *Solanum* and *Capsicum* (Solanaceae) from Bolivia, with clarification of nomenclature in some Bolivian *Solanum*. *Brittonia* 58 (4): 322-356.
- Ocampo-Pérez, J. & M. Molinari. 2017. *Passiflora gustaviana*, a new species of *Passiflora* (supersection Laurifolia) from Colombia revealed by multivariate analysis. *Syst. Bot.* 42 (4): 848-858.
- Osborn, T.C., T. Blake, P. Gepts & F.A. Bliss. 1986. Bean arcelin. 2. Genetic variation, inheritance and linkage relationships of a novel seed protein of *Phaseolus vulgaris* L. *Theor. Appl. Genet.* 71 (6): 847-855.
- Osborn, T.C., D.C. Alexander, S.S.M. Sun, C. Cardona & F.A. Bliss. 1988. Insecticidal activity and lectin homology of arcelin seed protein. *Science* 240: 207-210.
- Papa, R., E. Bellucci, M. Rossi, S. Leonardi, D. Rau, P. Gepts, L. Nanni & G. Attene. 2007. Tagging the signatures of domestication in common bean (*Phaseolus vulgaris*) by means of pooled DNA samples. *Ann. Bot.* 100 (5): 1039-1051.
- Papa, R. & P. Gepts. 2003. Asymmetry of gene flow and differential geographic structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mesoamerica. *Theor. Appl. Genet.* 106 (2): 239-250.
- Pearsall, D.M. 1992. The origins of plant cultivation in South America. *in*: "The origins of agriculture: an international perspective", C.W. Cowan & P.J. Watson (eds.). Smithsonian Institution Press. Washington, D.C., USA. Pp. 173-205.
- Peralta, I., S. Knapp & D.M. Spooner. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* sect. *Lycopersicon*: Solanaceae) from northern Peru. *Syst. Bot.* 30 (2): 424-434.
- Philouze, J. & H. Laterrot. 1992. La tomate. *in*: "Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection", A. Gallais & H. Bannerot (eds.). Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, France. Pp. 379-391.
- Pickersgill, B. 2007. Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. *Ann. Bot.* 100 (5): 925-940.
- Pimentel, D., C. Wilson, C. McCullum, R. Huang, P. Dwen, J. Flack, Q. Tran, T. Saltman & B. Cliff. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience* 47 (11): 747-757.
- Piperno, D.R., A.J. Ranere, I. Holst, J. Iriarte & R. Dickau. 2009. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas river valley, Mexico. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106 (13): 5019-5024.
- 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.
- Ranere, A.J., D.R. Piperno, I. Holst, R. Dickau & J. Iriarte. 2009. The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas river valley, Mexico. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106 (13): 5014-5018.

Referencias (7)

- Rice, E.L. 1983. Pest control with nature's chemicals. University of Oklahoma Press. Norman, Oklahoma, USA. 224p.
- Rick, C.M. 1967. Fruit and pedicel characters derived from Galapagos tomatoes. *Econ. Bot.* 21 (2): 171-184.
- 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.
- Sachs, J.D. 2008. Common wealth: economics for a crowded planet. Penguin Books. New York, New York, USA. 386p.
- Salcedo-Castaño, J., R. Araya-Villalobos, N. Castañeda-Alvarez, O. Toro-Chica & D.G. Debouck. 2011. *Phaseolus hygrophilus* (Leguminosae--Papilionoideae), a new wild bean species from the wet forests of Costa Rica, with notes about section *Brevilegumeni*. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 5 (1): 53-65.
- Sanjur, O.I., D.R. Piperno, T.C. Andres & L. Wessel-Beaver. 2002. Phylogenetic relationships among domesticated and wild species of *Cucurbita* (Cucurbitaceae) inferred from a mitochondrial gene: implications for crop plant evolution and areas of origin. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99 (1): 535-540.
- Schaal, B. 2019. Plants and people: our shared history and future. *Plants, People, Planet* 1 (1): 14-19.
- Serieys, H. & P. Vincourt. 1988. Caractérisation de nouvelles sources de stérilité mâle cytoplasmique chez le tournesol. *in*: "Variabilité génétique cytoplasmique et stérilité mâle cytoplasmique", A. Berville (ed.), Colloques de l'INRA 45, INRA, Paris, France. Pp. 53-64.
- Simmonds, N.W. 1995. Potatoes, *Solanum tuberosum* (Solanaceae). *in*: "Evolution of crop plants. Second edition", Smartt, J. & N.W. Simmonds (eds.). Longman Scientific & Technical. London, England. Pp. 466-471.
- Singh, S.P. 1999. Production and utilization. *in*: "Common bean improvement in the twenty first century", S.P. Singh (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. Pp. 1-24.
- Smith, B.D. 1997. The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 years ago. *Science* 276: 932-934.
- Sonnante, G., T. Stockton, R.O. Nodari, V.L. Becerra-Velásquez & P. Gepts. 1994. Evolution of genetic diversity during the domestication of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theor. Appl. Genet.* 89 (5): 629-635.
- Spooner, D.M., K. McClean, G. Ramsay, R. Waugh & G.J. Bryan. 2005. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102 (41): 14694-14699.
- Tanksley, S.D., S. Grandillo, T.M. Fulton, D. Zamir, Y. Eshed, V. Petiard, J. Lopez & T. Beck-Bunn. 1996. Advanced backcross QTL analysis in a cross between an elite processing line of tomato and its wild relative *L. pimpinellifolium*. *Theor. Appl. Genet.* 92 (2): 213-224.

Referencias (8)

- Tanksley, S.D. & S.R. McCouch. 1997. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science* 277: 1063-1066.
- Tanksley, S.D. & J.C. Nelson. 1996. Advanced backcross QTL analysis: a method for the simultaneous discovery and transfer of valuable QTLs from unadapted germplasm into elite breeding lines. *Theor. Appl. Genet.* 92 (2): 191-203.
- Tscharntke, T., Y. Clough, T.C. Wanger, L. Jackson, I. Motzke, I. Perfecto, J. Vandermeer & A. Whitbread. 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Conserv.* 151: 53-59.
- van Schoonhoven, A. & C. Cardona. 1982. Low levels of resistance to the Mexican bean weevil in dry beans. *J. Econ. Entomol.* 75 (4): 567-569.
- van Schoonhoven, A., C. Cardona & J. Valor. 1983. Resistance to the bean weevil and the Mexican bean weevil (Coleoptera: Bruchidae) in non cultivated common bean accessions. *J. Econ. Entomol.* 76 (6): 1255-1259.
- Vear, F. 1988. La stérilité mâle cytoplasmique utilisée actuellement chez le tournesol: l'origine, les caractéristiques, le système de restauration et l'utilisation en fabrication d'hybrides. *in*: "Variabilité génétique cytoplasmique et stérilité mâle cytoplasmique", A. Berville (ed.), Colloques de l'INRA 45, INRA, Paris, France. Pp. 65-73.
- Vear, F. 1992. Le tournesol. *in*: "Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection", A. Gallais & H. Bannerot (eds.). Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, France. Pp. 146-160.
- Warburton, M.L., S. Rauf, L. Marek, M. Hussain, O. Ogunola & J.J. Sánchez-González. 2017. The use of crop wild relatives in maize and sunflower breeding. *Crop Sci.* 57 (3): 1227-1240.
- Watson, J.W., J. Oliver & C.H. Foggo. 1965. A geography of Bermuda. Collins. London, England. 128p.
- Wilson, E.O. 2016. Half-earth: our planet's fight for life. Liverigth Publishing Corporation. W.W. Norton & Company, Inc. New York, New York, USA. 259p.
- World Resources Institute (WRI), The World Conservation Union (IUCN) & United Nations Environment Programme (UNEP). 1992. Global biodiversity strategy: guidelines for action, to save, study, and use earth's biotic wealth sustainably and equitably. Washington, D.C., USA. 244p.
- Zamora, N., B.E. Hammel & M.H. Grayum. 2004. Vegetación. *in*: "Manual de plantas de Costa Rica. Volumen 1. Introducción", B.E. Hammel, M.H. Grayum, C. Herrera & N. Zamora (eds.), Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, Missouri, USA. Pp. 91-216.



Muchas Gracias

Contacto: d.debouck@cgiar.org



#3126, ladera de Quircot, Cartago, Feb. 1998