

Fríjol y poroto, ib y pallar: distribución de sus diversidades silvestres y cultivadas en los Andes y Mesoamérica

D.G. Debouck

Cusco, 26 de noviembre de 2019

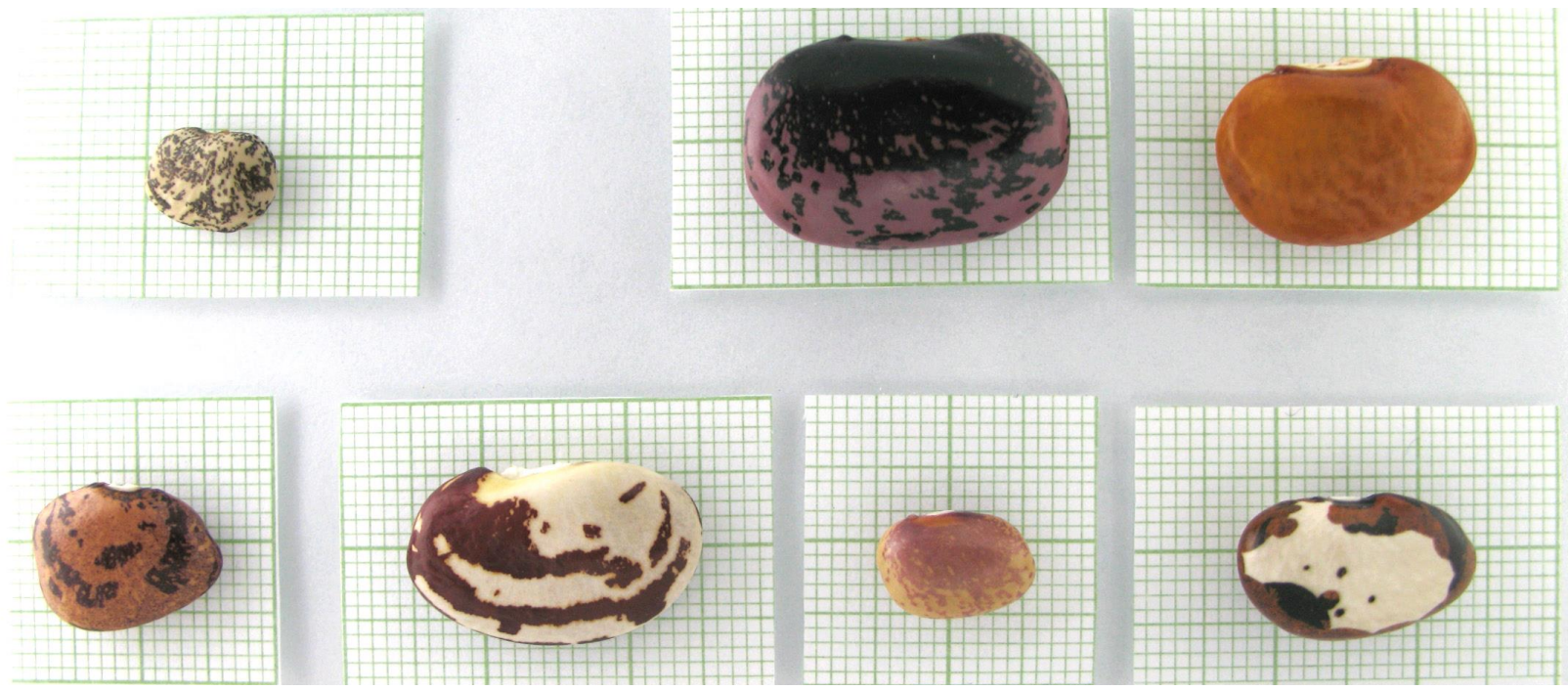


Raro en el reino vegetal: 7 plantas cultivadas en un género (*Phaseolus*)!

tepari: *acutifolius*

ayocote: *coccineus*

cachea: *dumosus*



ib: *lunatus*

pallar: *lunatus*

fríjol: *vulgaris*

poroto: *vulgaris*

Género *Phaseolus sensu stricto* (1978+): 80+ especies

Con amplia distribución: poblaciones > 100, varios nichos

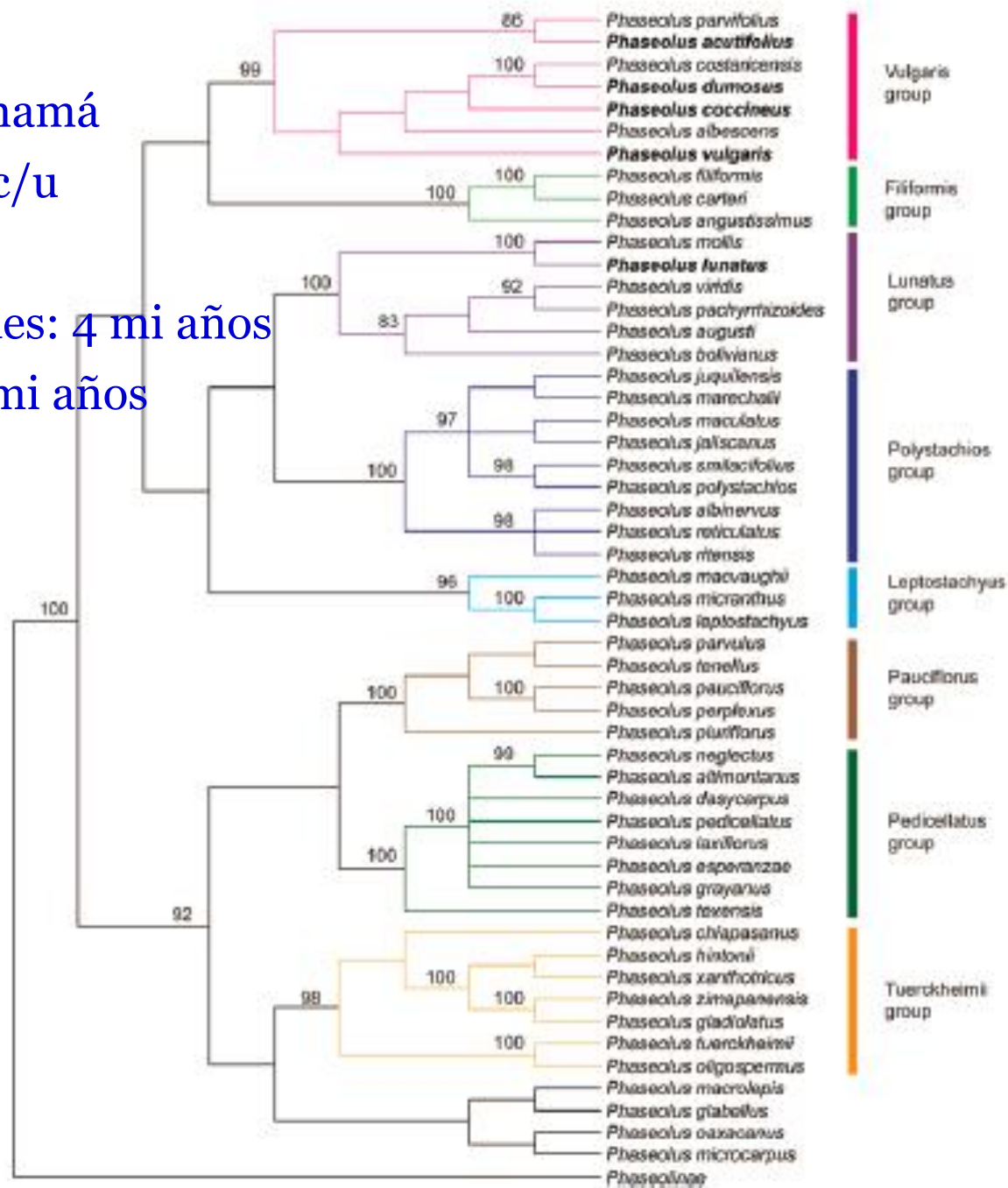
Con distribución intermedia: 25 < poblaciones < 100

Con distribución endémica: < 25 poblaciones, nicho específico

Amplia distr.			Intermedia			Endémicas		
14			20			46		
13	1	3	19	0	1	44	1	1
América N Panamá			Caribe			Suramérica		

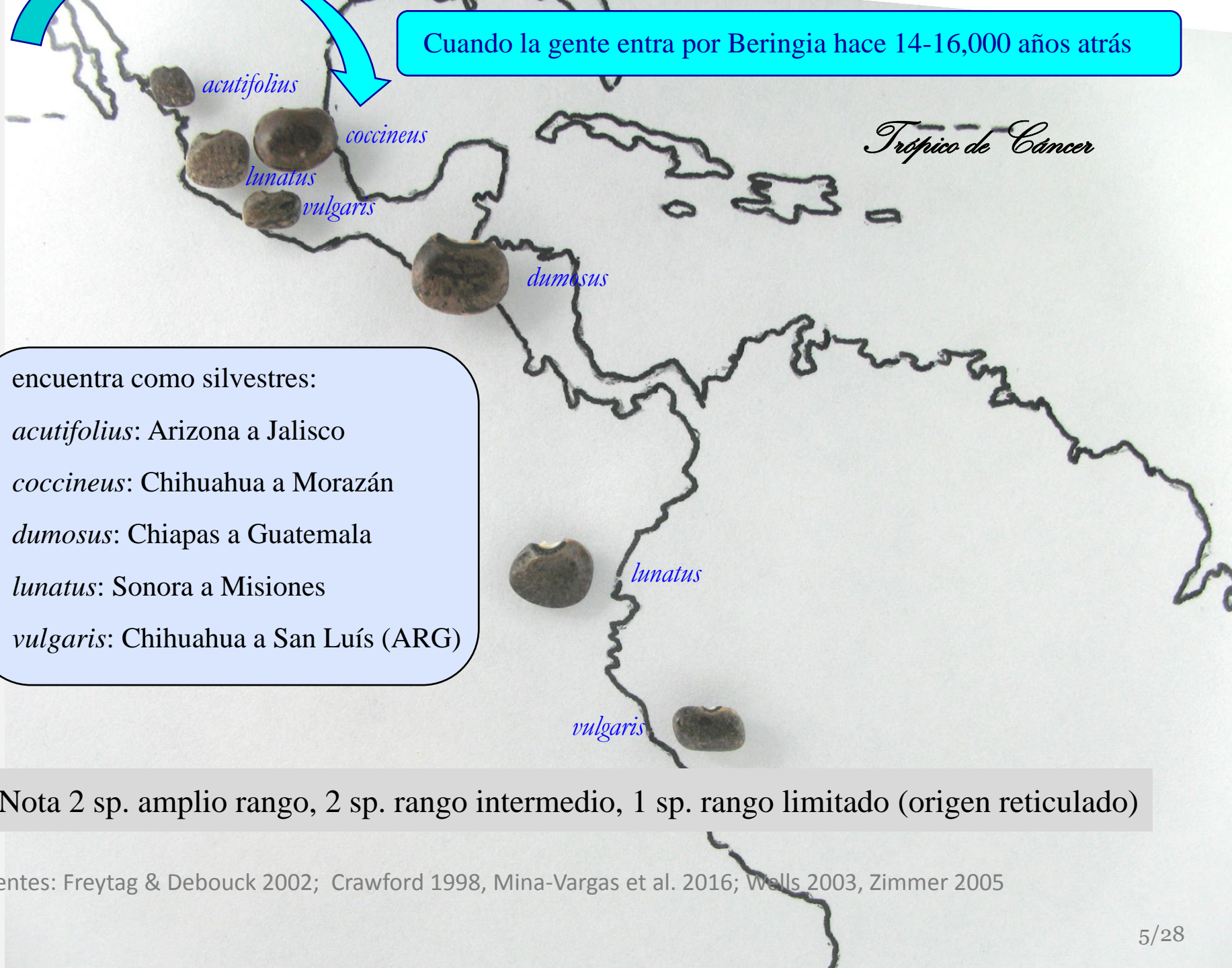
sobre las 80+ especies del género, más ½ son endémicas, allí vienen las nuevas
ejemplo de especies con amplia distribución en Suramérica: *aug*, *lun*, *vul*

- género: 80-85 sp.
- sólo 7 sp. al S de Panamá
- 2 clades de ~40 sp. c/u
- género: 8 mi años
- separación de 2 clades: 4 mi años
- edad de las sp.: 1-2 mi años



fuentes: Chacón et al. 2007;
 Debouck 2019
 Delgado et al. 2006
 Porch et al. 2013

Cuando la gente entra por Beringia hace 14-16,000 años atrás



encuentra como silvestres:

acutifolius: Arizona a Jalisco

coccineus: Chihuahua a Morazán

dumosus: Chiapas a Guatemala

lunatus: Sonora a Misiones

vulgaris: Chihuahua a San Luís (ARG)

Nota 2 sp. amplio rango, 2 sp. rango intermedio, 1 sp. rango limitado (origen reticulado)

fuentes: Freytag & Debouck 2002; Crawford 1998, Mina-Vargas et al. 2016; Wells 2003, Zimmer 2005

Distribución de la forma silvestre de *Phaseolus vulgaris* L.

Chihuahua: Nabhan, 1985

Eje Volcánico: Miranda-Colín, 1967

Oaxaca: Gentry, 1969

Guatemala: McBryde, 1947

Honduras: Burkart & Brücher, 1953

El Salvador: Debouck & Borja, 2012

Nicaragua: Debouck et al., 2008

Costa Rica: Debouck et al., 1989

Colombia: Toro-Chica et al., 1990

Venezuela: Berglund-Brücher & Brücher, 1976

Ecuador: Debouck et al., 1989

NW Perú: Debouck et al., 1993

Cusco Perú: Weberbauer, 1945

Bolivia: Freyre et al., 2006

Salta: Burkart, 1941

Córdoba: Drewes, 2006

- inmensa, sobre > 8,000 km, 28° N-31° S
- fraccionada, sobre 700-2,900 msnm
- en 4 grandes bloques; SW ECD y NW Perú!
- en bosques subhúmedos de montaña, estacionales



mapa: Toro et al. 1990

Phaseolus vulgaris L. silvestre: diversidad genética estructurada

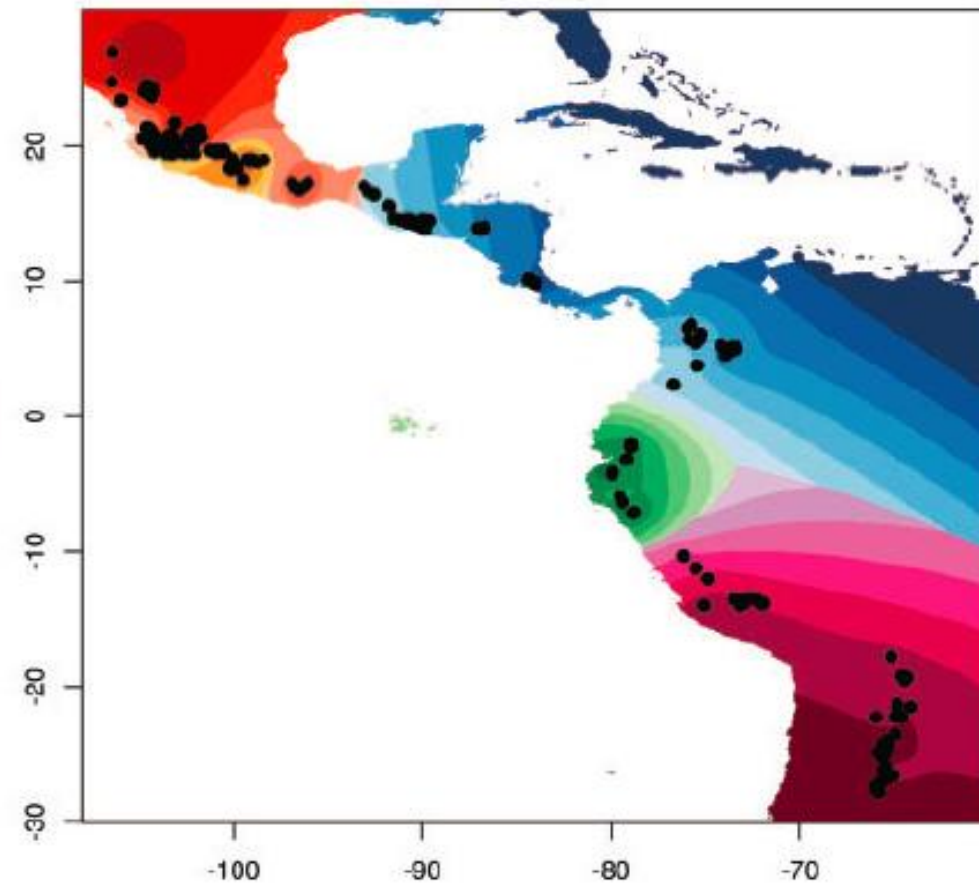


figure: Ariani et al. 2017

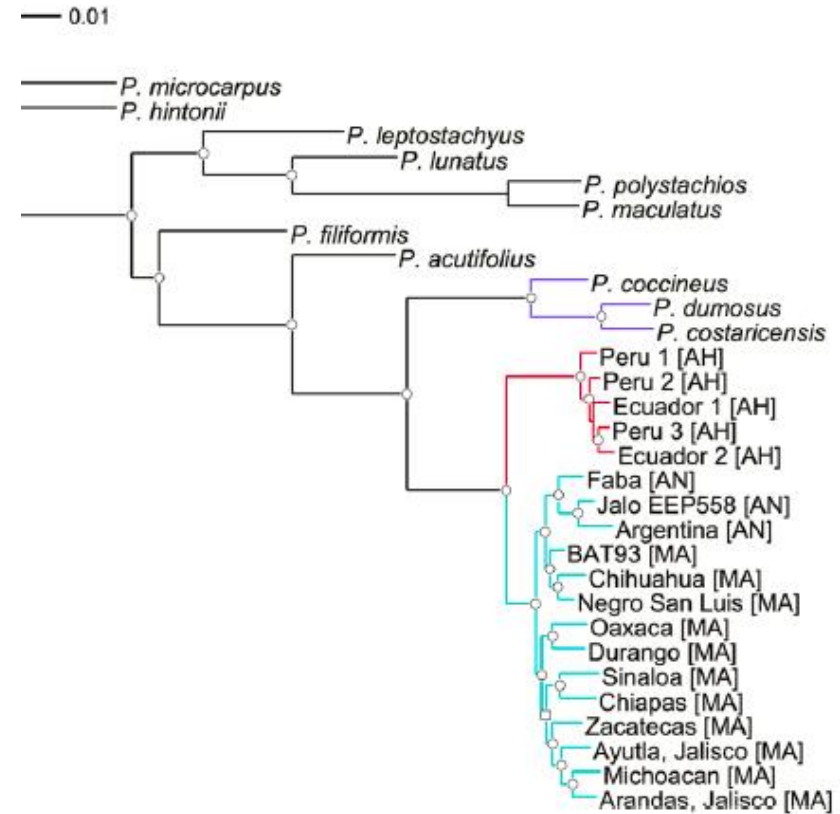


figure: Rendón-Anaya et al. 2017

- grupo de SW Ecuador y NW Perú siempre distinto, y anterior a los 2 grandes acervos M y A
- grupo Mesoamericano más diverso que grupo C-S Andino; Colombiano afin al Mesoamericano
- papel del gradiente de longitud y de las especies cercanas de los *Phaseoli*!?

Entrada en el *domus*: 2 domesticaciones independientes y localizadas



acervo Mesoamericano



arranca ~ 8,200 años a.P.

peso 100 sem: 7X

razas: Mesoamerica, Durango, Jalisco



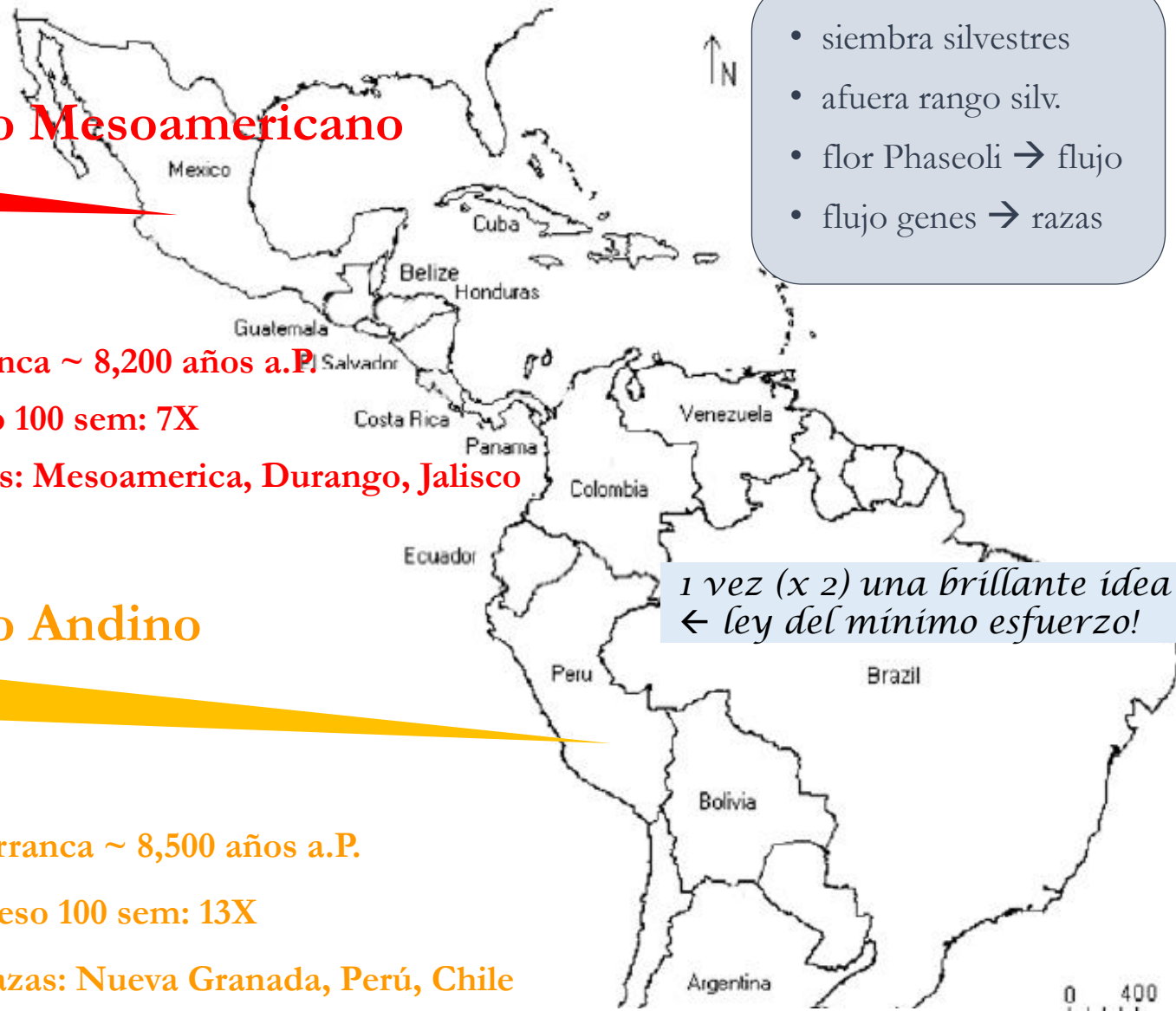
acervo Andino



arranca ~ 8,500 años a.P.

peso 100 sem: 13X

razas: Nueva Granada, Perú, Chile



- siembra silvestres
- afuera rango silv.
- flor Phaseoli → flujo
- flujo genes → razas

Las 6 razas originales identificadas en el frijol común

América Central

criterios:

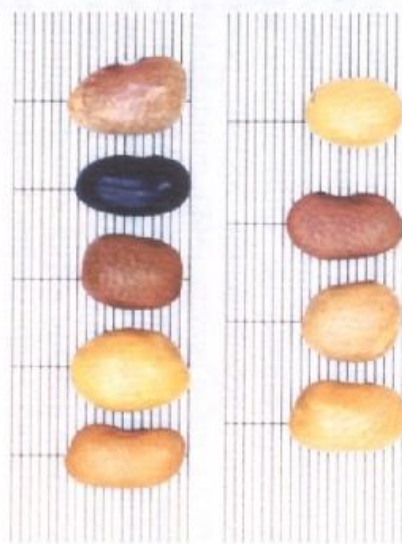
- distribución geográfica
- etnobotánica
- ecología
- faseolina
- 15 descriptores morfo-agronómicos
- aloenzimas

Zona Andina

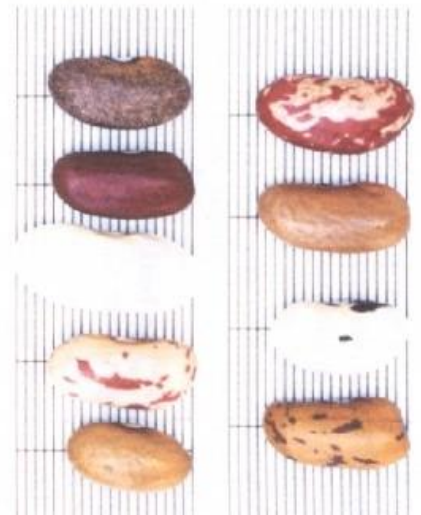
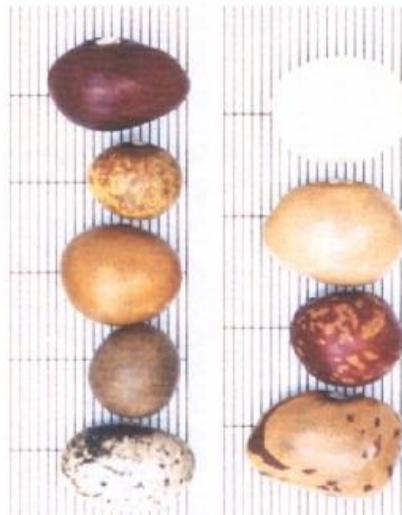
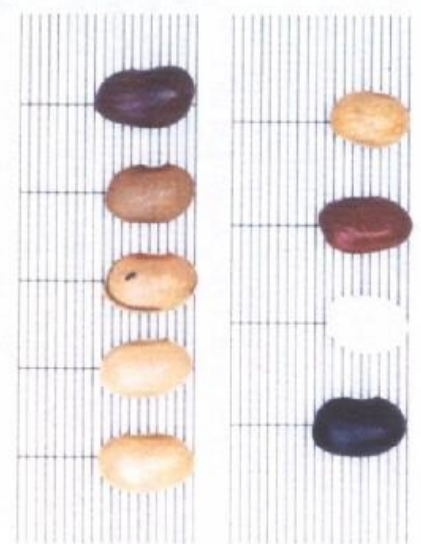
Durango



Jalisco



Mesoamérica



Chile

Perú

Nueva Granada

localidad B

patógenos B
insectos B
suelos B

Dinámica de la Domesticación
importancia de los circuitos de semillas

Cruzamientos variedades x parientes

maíz: Matsuoka et al. 2002

fríjol: Beebe et al. 1997

papa: Rabinowitz et al. 1990

ají: Hernández et al. 2001

algodón: Wendel & Percy 1990

calabaza: Kirkpatrick & Wilson 1988

patógenos A
insectos A
suelos A
pariente silvestre

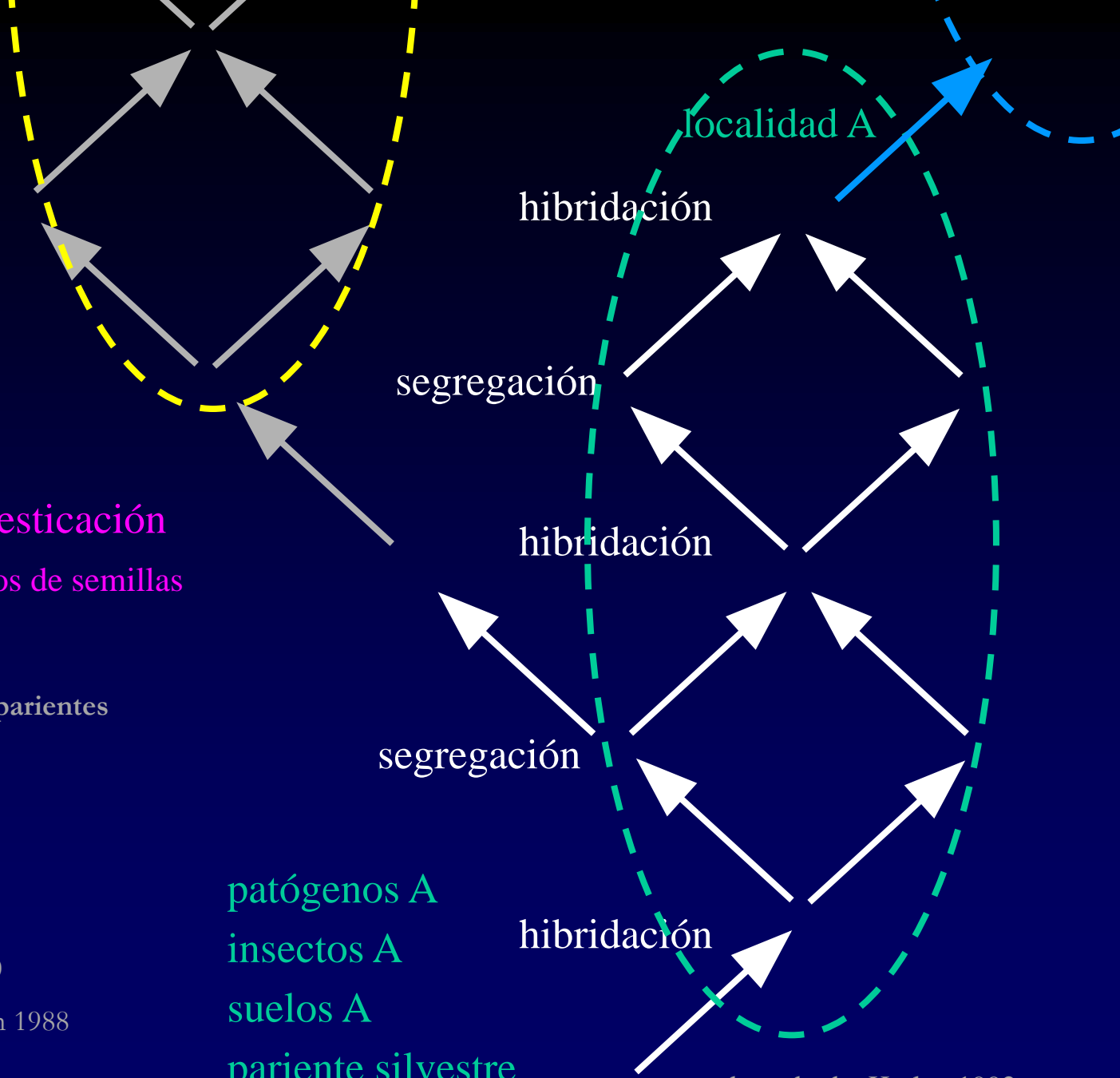
hibridación
segregación
hibridación

segregación

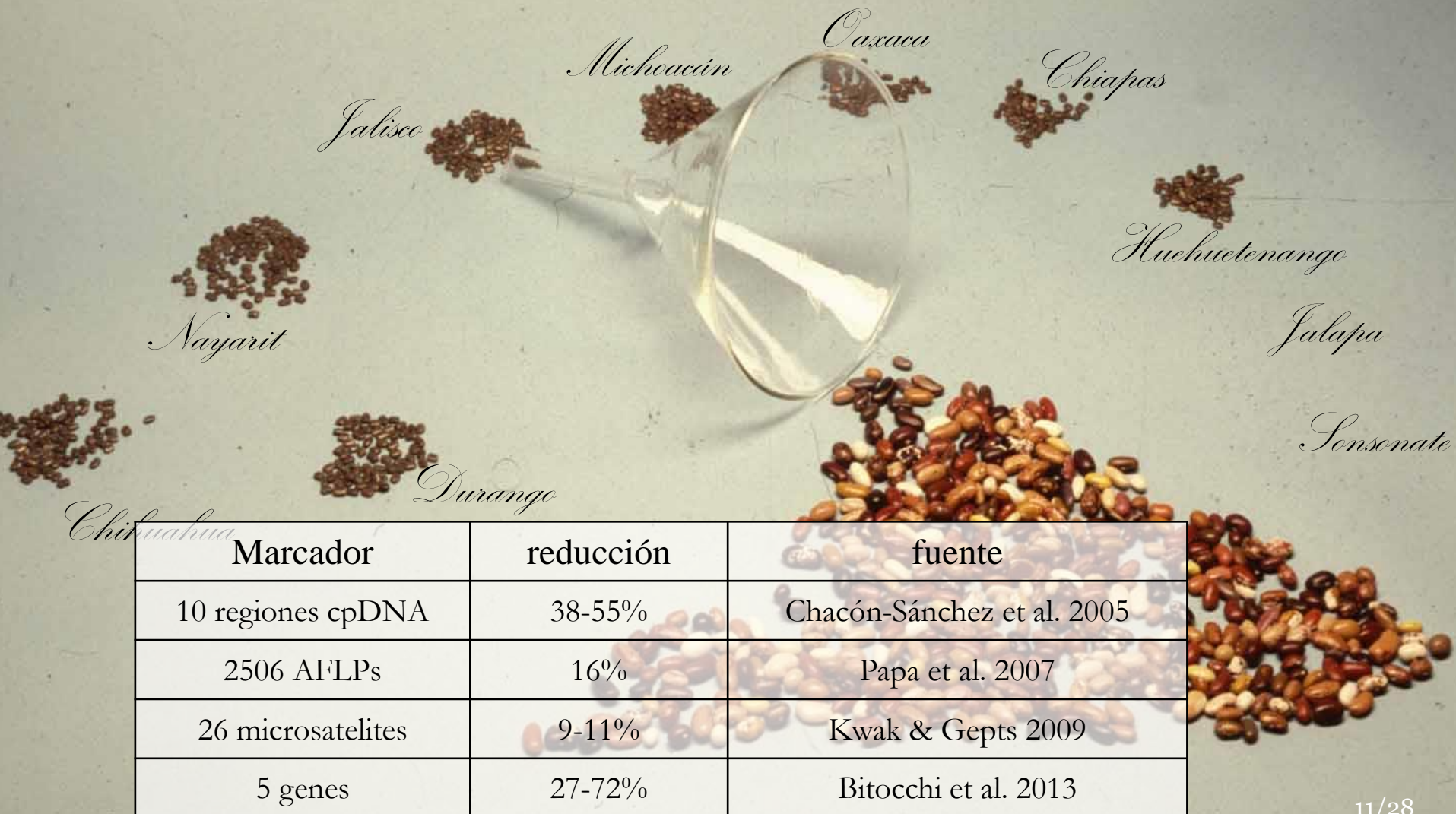
hibridación

localidad A

adaptado de: Harlan 1992



Domesticación del frijol común en Mesoamérica



¿Por qué se debe considerar las formas silvestres?

a mayor duración, mayor acumulación de diversidad genética

duración de la domesticación

divergencia de los acervos Andino y Mesoamericano

divergencia del acervo NW Perú SW Ecuador y otros dos acervos A y M

divergencia de *P. vulgaris* y otras especies mexi-centroamericanas



Uso del frijol en tiempos precerámicos:
las *nuñas* del Perú o los *k'opurus* de Bolivia son para tostado

colecta de Junín, Perú



colecta de Cajamarca, Perú



gran número de tipos de faseolina en las nuñas: mayor presión de selección para este carácter?
interés para el tostado: facilidad de preparación, posibilidad de transporte, valor nutricional

Dos eventos de domesticación distintos !

DGD-453; Jalisco



10 g



DGD-1944; Cajamarca



12 g

2250 ppm

aumento en tamaño y peso de semilla



2747 ppm

3-4 x



28 g

43 ppm

DGD-508; Campeche



131 g

10-14 x

47 ppm

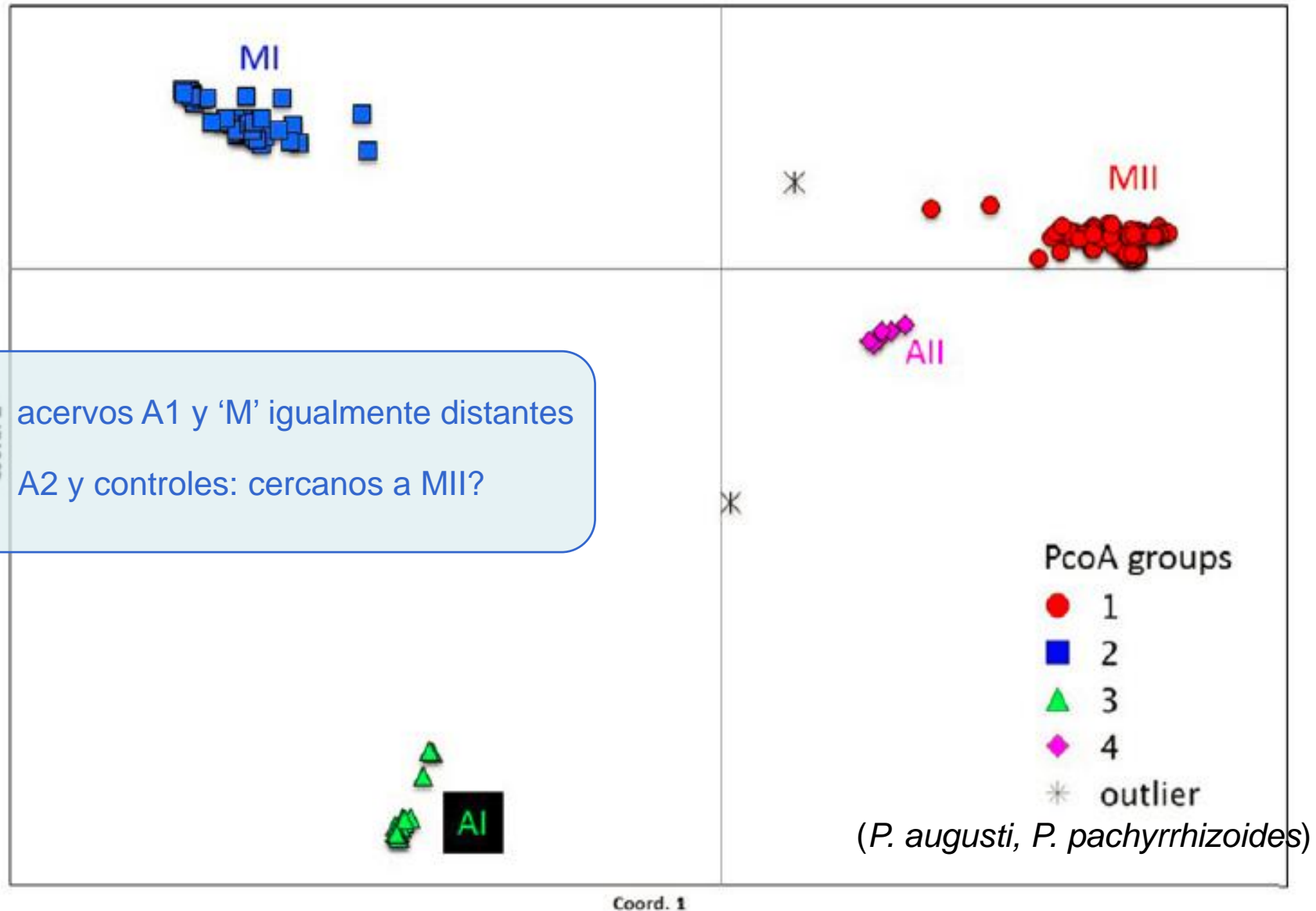
DGD-1176; Cajamarca

2 cm



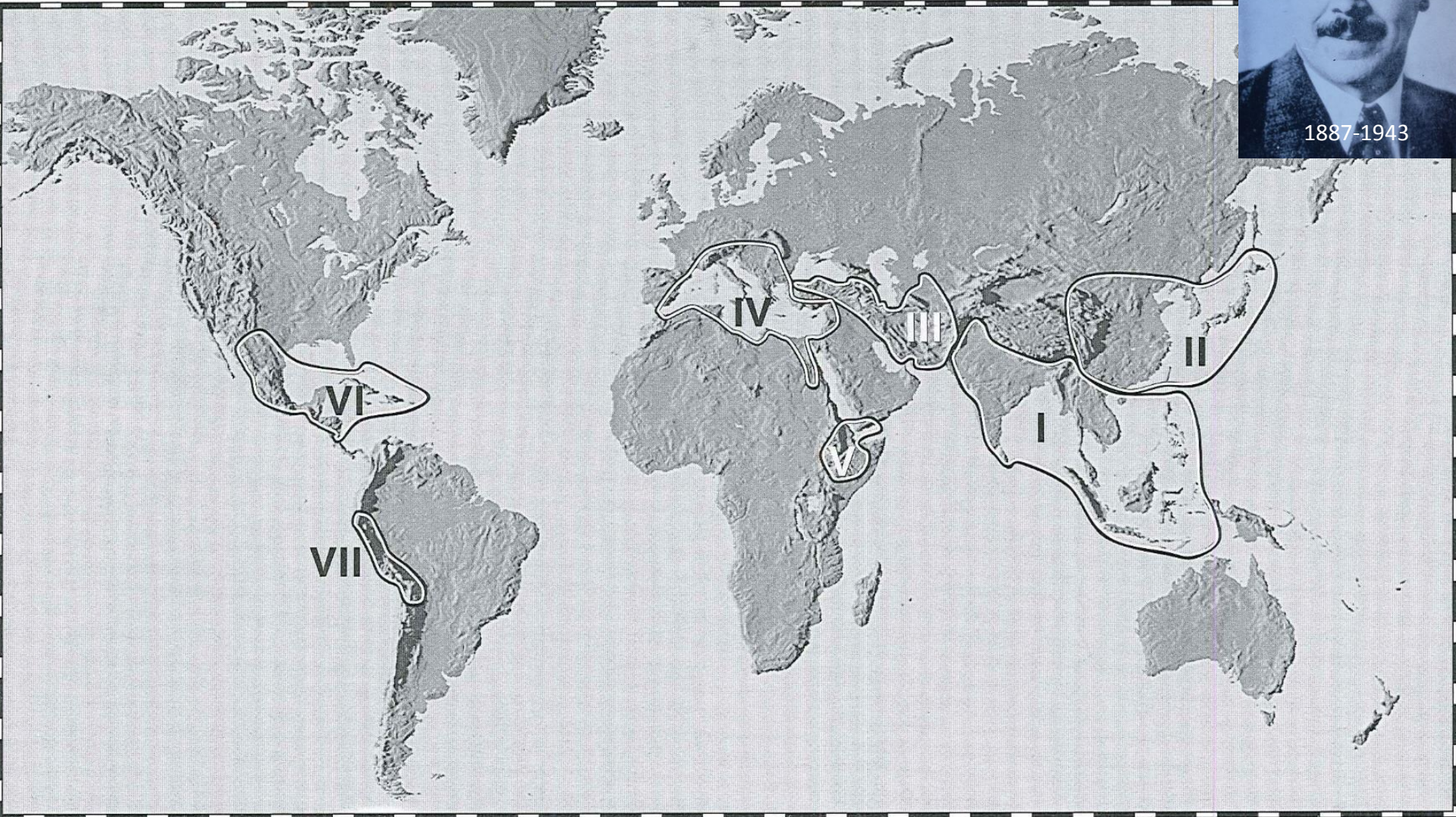
Phaseolus lunatus L. silvestre: diversidad genética estructurada

(principal coordinate analysis of 4,593 SNPs detected by GBS; 134 wild forms)



Centros de Origen de Plantas Cultivadas según N.I. Vavilov (1939)

de su libro no publicado "Five Continents"



VI Centro Centroamericano

IV Centro Mediterraneo

III Centro Suroccidente Asiático

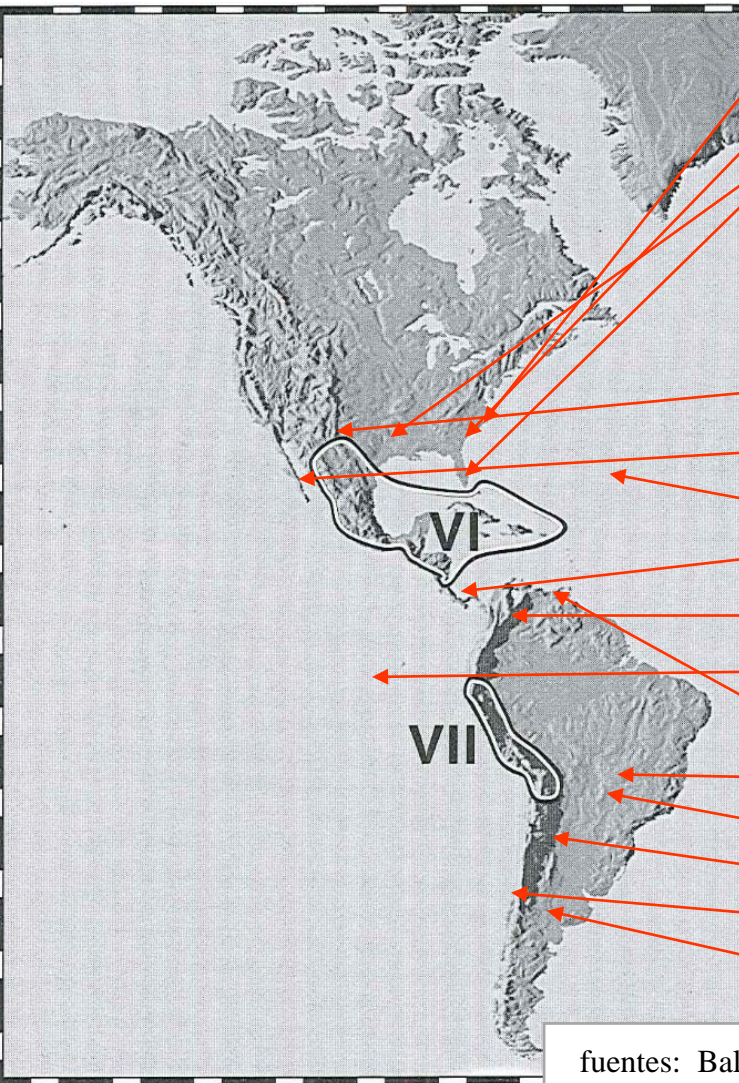
VII Andino

V Abisinia

I Centro Tropical

II Centro Asiático Oriental

Centros de Origen de Plantas Cultivadas: es que hay **más!** para *Phaseolus*:



polystachyus: tolerancia frío

sinuatus: sistema radicular

texensis, *smilacifolius*: endémicas, aún muy desconocidas

angustissimus: silvestre: Arizona: tolerancia heladas

filiformis: silvestre: Baja California: temperaturas extremas

lignosus: silvestre: Bermuda: endémica, raíz

costaricensis: silvestre: Costa Rica: resistencia moho blanco

lunatus: cultivado: Colombia: nuevo acervo All

mollis: silvestre: Galápagos: endémica, suelos!

lunatus: cultivado: Costa caribeña: tolerancia al calor

lunatus: cultivado: Brasil: recombinantes de acervos A y MII

vulgaris: cultivado: Brasil: recombinantes de acervos A y M

vulgaris: cultivado: NOA: centro origen germoplasma andino

vulgaris: cultivado: Chile central, raza 'Chile', introgresión

vulgaris: silvestre: Córdoba, tolerancia frío

VI Centro Centroamericano

VII Andino

fuentes: Balasubramanian et al. 2004; Bayuelo-Jiménez et al. 2002; Becerra-Velásquez et al. 2011; Bitocchi et al. 2013; Chacón & Martínez 2017; Debouck 2015, 2019; Delgado & Carr 2007; Drewes 2006; Erickson 1982; Freytag & Debouck 2002; Lobo-Burle et al. 2010; Lorz 1952; Paredes & Gepts 1995; Singh et al. 2013



Prioridades de Conocimiento Adicional (26/XI/2019) (1)

podemos seguir hablando de los “Centros de Origen” (< 1940!) si los refrescamos!

1. Quedan muchos 'huecos' en la representatividad de todas las especies

- 15% de las especies silvestres han sido descubiertas después de 2000; endémicas!
- es en Mesoamérica que la probabilidad de encontrar estas endémicas es mayor
- en Mesoamérica falta trabajo en:
 - México para las extintas (!?) (*leptophyllus*, *placiocylix*) y otras 4 spp.
 - Guatemala para *P. parvifolius*, *P. pauciflorus*, *P. persistentus*
 - Honduras ameritaría un trabajo como lo de Costa Rica (de 7 a 15sp.!).
- en Suramérica falta trabajo en:
 - Venezuela para silvestres de *P. lunatus* y de *P. vulgaris*
 - Brasil, Bolivia y Paraguay para silvestres de *P. lunatus*
 - en las transiciones: Colombia (3), Amotape-Huancabamba, Salinas Grandes



Prioridades de Conocimiento Adicional (26/XI/2019) (2)

2. Aún no se ha terminado de documentar las variedades tradicionales

- inventario del material no comercial, con marcadores y georeferenciación
- en Mesoamérica falta trabajo en:
 - Corredor seco centroamericano para tepari
 - Quiché y Belice para ibes
- en Suramérica falta trabajo en:
 - Venezuela para guacaro y murutungo
 - Brasil, Bolivia y Paraguay para formas cultivadas de *P. lunatus*
 - en Colombia, Perú, Bolivia, para variedades no comerciales

3. Faltan trabajos sobre el efecto a largo plazo de los flujos génicos

- papel de las otras especies/ papel del agricultor/ persistencia



Unas Prioridades de Conservación

- todas las especies silvestres por la diversidad genética acumulada por 8 mil años
- en Mesoamérica son de gran interés 6 especies del grupo de *P. vulgaris*
- en los Andes son de gran interés 2 especies del grupo de *P. vulgaris* y
y 3 especies del grupo de *P. lunatus*
- es urgente hacer inventarios en parques nacionales para ver si tienen parientes de *Phaseolus*
- una meta modesta sería que una población de cada especie esté en un área protegida
- en ambas regiones son de gran interés los flujos génicos entre variedades nativas y entre estas y especies y formas silvestres, sobre todo los casos donde la gente aún sigue domesticando dentro de estos flujos génicos



Algunas referencias (1)

- Acosta-Gallegos, J.A., J.D. Kelly & P. Gepts. 2007. Prebreeding in common bean and use of genetic diversity from wild germplasm. *Crop Sci.* 47 (S3): S44-S59.
- Andueza-Noh, R.H., M.L. Serrano-Serrano, M.I. Chacón-Sánchez, I. Sánchez del Pino, L. Camacho-Pérez, J. Coello-Coello, J. Mijangos-Cortés, D.G. Debouck & J. Martínez-Castillo. 2013. Multiple domestications of the Mesoamerican gene pool of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.): evidence from chloroplast DNA sequences. *Genet. Resources & Crop Evol.* 60 (3): 1069-1086.
- Araya-Villalobos, R., W.G. González-Ugalde, F. Camacho-Chacón, P. Sánchez-Trejos & D.G. Debouck. 2001. Observations on the geographic distribution, ecology and conservation status of several *Phaseolus* bean species in Costa Rica. *Genet. Resources & Crop Evol.* 48 (3): 221-232.
- 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.
- Balasubramanian, P., A. Vandenberg, P. Hucl & L. Gusta. 2004. Resistance of *Phaseolus* species to ice crystallization at subzero temperature. *Physiol. Plant.* 120 (3): 451-457.
- Bannerot, H. 1989. The potential of hybrid beans. *In*: "Current topics in breeding of common bean", S. Beebe (ed.). Working Document no. 47. 438pp. Bean Program, International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia. Pp. 111-134.
- Bayuelo-Jiménez, J., D.G. Debouck & J. Lynch. 2002. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Science* 42 (6): 2184-2192.
- Beebe, S.E. 2012. Common bean breeding in the tropics. *Plant Breeding Reviews* 36: 357-426.
- Beebe, S.E. & D.G. Debouck. 2019. Common beans and Lima beans in the northern Andes: evolutionary riddles and potential utility. Special report to the Annual Report of the Bean Improvement Cooperative (USA). 62, xxii-xxxi.
- 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.
- Becerra-Velásquez, V., M. Paredes-Cárcomo & D.G. Debouck. 2011. Genetic relationships of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) race Chile with wild Andean and Mesoamerican germplasm. *Chilean J. Agric. Res.* 71 (1): 3-15.
- Berglund-Brücher, O. & H. Brücher. 1976. The South American wild bean (*Phaseolus aborigineus* Burk.) as ancestor of the common bean. *Econ. Bot.* 30 (3): 257-272.
- Bitocchi, E., L. Nanni, E. Bellucci, M. Rossi, A. Giardini, P. Spagnoletti-Zeuli, G. Logozzo, J. Stougaard, P. McClean, G. Attene & R. Papa. 2012. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109 (14): 788-796.



Algunas referencias (2)

- 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.
- Bitocchi, E., D. Rau, E. Bellucci, M. Rodríguez, M.L. Murgia, T. Gioia, D. Santo, L. Nanni, G. Attene & R. Papa. 2017. Beans (*Phaseolus* spp.) as a model for understanding crop evolution. *Frontiers in Plant Science* 8 (722): 1-21.
- Blair, M.W., W. Pantoja & L.C. Muñoz. 2012. First use of microsatellite markers in a large collection of cultivated and wild accessions of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray). *Theor. Appl. Genet.* 125 (6): 1137-1147.
- Blair, M.W., C. Astudillo, J. Rengifo, S.E. Beebe & R. Graham. 2011. QTL analyses for seed iron and zinc concentrations in an intra-genepool population of Andean common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theor. Appl. Genet.* 122 (3): 511-521.
- Broughton, W.J., G. Hernández, M. Blair, S. Beebe, P. Gepts & J. Vanderleyden. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant & Soil* 252 (1): 55-128.
- Brücher, H. 1989. Useful plants of Neotropical origin and their wild relatives. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. 296p.
- Burkart, A. 1941. Sobre la existencia de razas silvestres de *Phaseolus vulgaris* y *P. lunatus*. *Resoluciones y Resúmenes de Botánica*, Primera Reunión Argentina de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. p. 52.
- Burkart, A. & H. Brücher. 1953. *Phaseolus aborigineus* Burkart, die mutmaßliche andine Stammform der Kulturbohne. *Züchter* 23 (3): 65-72.
- 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.
- Chacón-Sánchez, M.I. & J. Martínez-Castillo. 2017. Testing domestication scenarios of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in Mesoamerica: insights from genome-wide genetic markers. *Front. Plant Sci.* 8 (1551): 1-20.
- 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.
- 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.
- Cortés, A.J. 2013. On the origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Amer. J. Plant Sci.* 4 (10): 1998-2000.
- Cortés, A.J. & M.W. Blair. 2018. Genotyping by sequencing and genome-environment associations in wild common bean predict widespread divergent adaptation to drought. *Front. Plant Sci.* 9, 128, 1-13.
- Cortés, A.J., F.A. Monserrate, J. Ramírez-Villegas, S. Madriñán & M.W. Blair. 2013. Drought tolerance in wild plant populations: the case of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *PLoS ONE* 8 (5): 1-10.



Algunas referencias (3)

- Crawford, M.H. 1998. The origins of native Americans: evidence from anthropological genetics. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 308p.
- Debouck, D.G. 1992. Frijoles, *Phaseolus* 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. 45-60.
- 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. 2019. Cahiers de phaséologie – section *Brevilegumeni*, section *Paniculati* and section *Phaseoli*. International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia. 88p, 454p and 229p, respectively. <https://ciat.cgiar.org/what-we-do/crop-conservation-and-use/> files. Accessed on 15 May 2019.
- Debouck, D.G., R. Araya-Villalobos, R.A. Ocampo-Sánchez & W.G. González-Ugalde 1989a. Collecting *Phaseolus* in Costa Rica. FAO/IBPGR Plant Genet. Resources Newsl. 78/79: 44-46.
- Debouck, D.G., R. Araya-Villalobos & N. Chaves-Barrantes. 2018. *Phaseolus angucianae* (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., R. Castillo T. & J.M. Tohme. 1989b. Observations on little-known *Phaseolus* germplasm of Ecuador. FAO/IBPGR Plant Genet. Resources Newsl. 80: 15-21.
- Debouck, D.G., N. Chaves-Barrantes & R. Araya-Villalobos. 2019. New records of *Phaseolus microcarpus* (Leguminosae-Phaseoleae) for Costa Rica. J. Bot. Res. Inst. Texas 13 (1): 209-215.
- Debouck, D.G., R. Herrera-T. & R. Araya-V. 2008. New populations of wild common bean disclosed in Nicaragua. Annu. Rept. Bean Improvement Coop. (USA) 51: 120-121.
- 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.
- Debouck, D.G., O. Toro, O.M. Paredes, W.C. Johnson & P. Gepts. 1993. Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northwestern South America. Econ. Bot. 47 (4): 408-423.
- Delgado-Salinas, A. 1988. Variation, taxonomy, domestication, and germplasm potentialities in *Phaseolus coccineus*. In: “Genetic resources of *Phaseolus* beans”, P. Gepts (ed.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holland. Pp. 441-463.



Algunas referencias (4)

- 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.
- Delgado-Salinas, A. & W.D. Carr. 2007. *Phaseolus texensis* (Leguminosae: Phaseolinae): a new species from the Edwards Plateau of central Texas. *Lundellia* 10: 11-17.
- Delgado-Salinas, A. & S. Gama-López. 2015. Diversidad y distribución de los frijoles silvestres en México. *Rev. Dig. Univ. (UNAM, México)* 16 (2): 2-11.
- Delgado-Salinas, A., Th. Turley & M. Lavin. 1998. Cultivated and wild species of *Phaseolus* in phylogenetic context. *Amer. J. Bot.* 85 (6): 123 (Supplem.).
- Dohle, S., J.C. Berny Mier y Teran, A. Egan, T. Kisha & C.K. Khoury. 2019. Chapter 4. Wild beans (*Phaseolus* L.) of North America. In: "North American Crop Wild Relatives. Volume 2", S.L. Greene, K.A. Williams, C.K. Khoury, M.B. Kantar & L.F. Marek (eds.). Springer Nature AG, Berne, Switzerland. Pp. 99-127.
- Drewes, S.I. 2006. Sobre *Phaseolus vulgaris* var. *aborigineus* (Fabaceae) en Córdoba. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 41 (3-4): 323-324.
- Erickson, H.T. 1982. Lima bean legacy. *HortSci.* 17 (5): 702.
- Félix, D.-T., J. Coello-Coello & J. Martínez-Castillo. 2014. Wild to crop introgression and genetic diversity in Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in traditional Mayan milpas from Mexico. *Conserv. Genet.* 15 (6): 1315-1328.
- Freyre, R., R. Ríos, L. Guzmán, D.G. Debouck & P. Gepts. 1996. Ecogeographic distribution of *Phaseolus* spp. (Fabaceae) in Bolivia. *Econ. Bot.* 50 (2): 195-215.
- Freytag, G.F. & D.G. Debouck. 1996. *Phaseolus costaricensis*, a new wild bean species (Phaseolinae, Leguminosae) from Costa Rica and Panama, Central America. *Novon* 6 (2): 157-163.
- Freytag, G.F. & D.G. Debouck. 2002. Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. *Sida Bot. Misc.* 23:1-300.
- Gade, D.W. 1999. Nature and culture in the Andes. The University of Wisconsin Press. Madison, Wisconsin, USA. 287p.
- Garvin, D.F. & N.F. Weeden. 1994. Isozyme evidence supporting a single geographic origin for domesticated tepary bean. *Crop Sci.* 34 (5): 1390-1395.
- Gentry, H.S. 1969. Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Econ. Bot.* 23 (1): 55-69.
- Gepts, P. & D.G. Debouck. 1991. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: "Common beans: research for crop improvement", A. van Schoonhoven and O. Voysest (eds.), Commonwealth Agricultural Bureaux International, Wallingford, United Kingdom. Pp. 7-53.



Algunas referencias (5)

- 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.
- 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: 129-142
- Kami J., V. Becerra-Velásquez, D.G. Debouck & P. Gepts. 1995. Identification of presumed ancestral DNA sequences of phaseolin in *Phaseolus vulgaris*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92 (2): 1101-1004.
- Kaplan, L. & L.N. Kaplan. 1992. Beans of the Americas. *In*: “Chillies to chocolate – Food the Americas gave the world”, N. Foster & L.S. Cordell (eds.), The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA. Pp. 61-79.
- Kaplan, L., & T. Lynch. 1999. *Phaseolus* (Fabaceae) in archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for pre-Colombian agriculture. *Econ. Bot.* 53 (3): 261-272.
- Kelly, J.D., K.A. Schneider & J.M. Kolkman. 1999. Breeding to improve yield. *In*: “Common bean improvement in the twenty first century”, S.P. Singh (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. Pp. 185-222. Koinange, E.M.K., S.P. Singh & P. Gepts. 1996. Genetic control of the domestication syndrome in common bean. *Crop Sci.* 36 (4): 1037-1045.
- Khairallah, M.M., B.B. Sears & M.W. Adams. 1992. Mitochondrial restriction fragment length polymorphisms in wild *Phaseolus vulgaris* L.: insights on the domestication of the common bean. *Theor. Appl. Genet.* 84 (7-8): 915-922.
- Kirkpatrick, K.J. & H.D. Wilson. 1988. Interspecific gene flow in *Cucurbita*: *C. texana* vs *C. pepo*. *Amer. J. Bot.* 75 (4): 519-527.
- 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.
- Lobaton, J.D., T. Miller, J. Gil, D. Ariza, J.F. de la Hoz, A. Soler, S. Beebe, J. Duitama, P. Gepts & B. Raatz. 2018. Resequencing of common bean identifies regions of inter-gene pool introgression and provides comprehensive resources for molecular breeding. *The Plant Genome* 11 (2): 1-21.
- Lobo-Burle, M., J.R. Fonseca, J.A. Kami & P. Gepts. 2010. Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. *Theor. Appl. Genet.* 121 (5): 801-813.
- Lorz, A.P. 1952. An interspecific cross involving the Lima bean *Phaseolus lunatus* L. *Science* 115: 702-703.



Algunas referencias (6)

- 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.
- Maréchal, R., J. Mascherpa & F. Stainier. 1978. Etude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. *Boissiera* 28: 1-273.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M.M. Goodman, J. Sánchez-González, E. Buckler & J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99 (9): 6080-6084.
- McBryde, F.W. 1947. Cultural and historical geography of southwest Guatemala. *Smithsonian Inst. Publ.* 4: 1-184.
- Miklas, P.N., J.D. Kelly, S.E. Beebe & M.W. Blair. 2006. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: from classical to MAS breeding. *Euphytica* 147 (1-2): 105-131.
- Mina-Vargas, A.M., P.C. McKeown, N.S. Flanagan, D.G. Debouck, A. Kilian, T.R. Hodgkinson & C. Spillane. 2016. Origin of year-long bean (*Phaseolus dumosus* Macfady., Fabaceae) from reticulated hybridization events between multiple *Phaseolus* species. *Ann. Bot.* 118 (5): 957-969.
- Miranda-Colín, S. 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (Frijol común). *Agrociencia* 1 (2): 99-109.
- Montoya, C.A., P. Leterme, N.F. Victoria, O. Toro, W.B. Souffrant, S. Beebe & J.P. Lallès. 2008. Susceptibility of phaseolin to in vitro proteolysis is highly variable across common bean varieties (*Phaseolus vulgaris*). *J. Agric. Food Chem.* 56 (6): 2183-2191.
- Motta-Aldana, J.R., M.L. Serrano-Serrano, J. Hernández-Torres, G. Castillo-Villamizar, D.G. Debouck & M.I. Chacón-Sánchez. 2010. Multiple origins of Lima bean landraces in the Americas: evidence from chloroplast and nuclear DNA polymorphisms. *Crop Science* 50 (5): 1773-1787.
- Nabhan, G.P. 1985. Native crop diversity in Aridoamerica: conservation of regional gene pools. *Econ. Bot.* 39 (4): 387-399.
- National Research Council. 1989. Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press, Washington, D.C., USA. 415p.
- 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.
- Paredes, O.M. & P. Gepts. 1995. Extensive introgression of Middle American germplasm into Chilean common bean cultivars. *Genet. Resources & Crop Evol.* 42 (1): 29-41.



Algunas referencias (7)

- Piperno, D.L. 2012. New archaeobotanical information on early cultivation and plant domestication involving microplant (phytolith and starch grain) remains. *In*: “Biodiversity in agriculture – Domestication, evolution, and sustainability”, P. Gepts, Th.R. Famula, R.L. Bettinger, S.B. Brush, A.B. Damania, P.E. McGuire & C.O. Qualset (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 136-159.
- Piperno, D.L. & T.D. Dillehay. 2008. Starch grains on human teeth reveal early broad crop diet in northern Peru. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105 (50): 19622-19627.
- Porch, T.G., J.S. Beaver, D.G. Debouck, S. Jackson, J.D. Kelly & H. Dempewolf. 2013. Use of wild relatives and closely related species to adapt common bean to climate change. *Agronomy* 3: 433-461.
- Programa de Recursos Genéticos. 2019. International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia. Available at: <https://ciat.cgiar.org/what-we-do/crop-conservation-and-use/>. Accessed on 12 May 2019.
- Rabinowitz, D., C.R. Linder, R. Ortega, D. Begazo, H. Murguía, 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.
- Ramírez-Villegas, J., C. Khoury, A. Jarvis, D.G. Debouck & L. Guarino. 2010. A gap analysis methodology for collecting crop gene pools: a case study with *Phaseolus* beans. *PLoS ONE Biology* 5 (10): 1-18.
- Rendón-Anaya, M., A. Herrera-Estrella, P. Gepts & A. Delgado Salinas. 2017a. A new species of *Phaseolus* (Leguminosae, Papilionoideae) sister to *Phaseolus vulgaris*, the common bean. *Phytotaxa* 313 (3): 259-266.
- 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. 2017b. Genomic history of the origin and domestication of common bean unveils its closest sister species. *Genome Biol.* 18 (60): 1-17.
- Schmutz, J., P.E. McClean, S. Mamidi, G.A. Wu, S.B. Cannon, J. Grimwood, J. Jenkins, S. Shu, Q. Song, C. Chavarro, M. Torres-Torres, V. Geffroy, S.M. Moghaddam, D. Gao, B. Abernathy, K. Barry, M. Blair, M.A. Brick, M. Chovatia, P. Gepts, D.M. Goodstein, M. Gonzales, U. Hellsten, D.L. Hyten, G. Jia, J.D. Kelly, D. Kudrna, R. Lee, M.M.S. Richard, P.N. Miklas, J.M. Osorno, J. Rodrigues, V. Thareau, C.A. Urrea, M. Wang, Y. Yu, M. Zhang, R.A. Wing, P.B. Cregan, D.S. Rokhsar & S.A. Jackson. 2014. A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. *Nature Genetics* 46 (7): 707-713.
- Serrano-Serrano, M.L., J. Hernández-Torres, G. Castillo-Villamizar, D.G. Debouck & M.I. Chacón-Sánchez. 2010. Gene pools in wild Lima beans (*Phaseolus lunatus* L.) from the Americas: evidences for an Andean origin and past migrations. *Molec. Phylogen. Evol.* 54 (1): 76-87.



Algunas referencias (8)

- Singh, S.P., P. Gepts & D.G. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Econ. Bot. 45 (3): 379-396.
- Singh, S.P., H. Terán, M. Lema, D.M. Webster, C.A. Strausbaugh, P.N. Miklas, H.F. Schwartz & M.A. Brick. 2007. Seventy-five years of breeding dry bean of the western USA. Crop Sci. 47 (3): 981-989.
- Singh, S.P., H. Terán, H.F. Schwartz, K. Otto, D.G. Debouck, W. Roca & M. Lema. 2013. White mold-resistant, interspecific common bean breeding line VRW32 derived from *Phaseolus costaricensis*. J. Plant Registr. 7(1): 95-99.
- Smartt, J. 1990. Grain legumes: evolution and genetic resources. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 379p.
- Spataro, G., B. Tiranti, P. Arcaleni, E. Bellucci, G. Attene, R. Papa, P. Spagnoletti-Zeuli & V. Negri. 2011. Genetic diversity and structure of a worldwide collection of *Phaseolus coccineus* L. Theor. Appl. Genet. 122 (7): 1281-1291.
- Tohme, J., O. Toro-Chica, J. Vargas & D.G. Debouck. 1995. Variability in Andean Nuña common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Econ. Bot. 49 (1): 78-95.
- Toro-Chica, O., J. Tohme, & D. G. Debouck. 1990. Wild bean (*Phaseolus vulgaris* L.): description and distribution. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy and Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 106p.
- van Beem, J., J. Kornegay & L. Lareo. 1992. Nutritive value of the nuña popping bean. Econ. Bot. 46 (2): 164-170.
- Vázquez-García, J.A., R. Cuevas-Guzmán, T.S. Cochrane, H.H. Iltis, F.J. Santana-Michel & L. Guzmán-Hernández. 1995. Flora de Manantlán. SIDA Bot. Misc. 13: 1-312.
- Vavilov, N.I. 1997 (1939). Five continents. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 198p.
- Weberbauer, A. 1945. El mundo vegetal de los Andes peruanos. Ministerio de Agricultura, Estación Experimental Agrícola de La Molina. Lima, Perú. 776p.
- Wells, S. 2003. The journey of man: a genetic odyssey. Random House, Inc. New York, New York, USA. 218p.
- 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.
- Zimmer, C. 2005. Smithsonian intimate guide to human origins. Madison Press Books. Harper Collins Publishers, Inc. New York, New York, USA. 176p.
- Zimmerer, K.S. 1992. Biological diversity and local development: "Popping beans" in the Central Andes. Mountain Res. Dev. 12 (1): 47-61.
- Zizumbo-Villareal, D., P. Colunga-García Marín, E. Payro de la Cruz, P. Delgado-Valerio & P. Gepts. 2005. Population structure and evolutionary dynamics of wild-weedy-domesticated complexes of common bean in a Mesoamerican region. Crop Sci. 45 (3): 1073-1083.