

La domesticación en su primer milenio frente a los peligros nutricionales

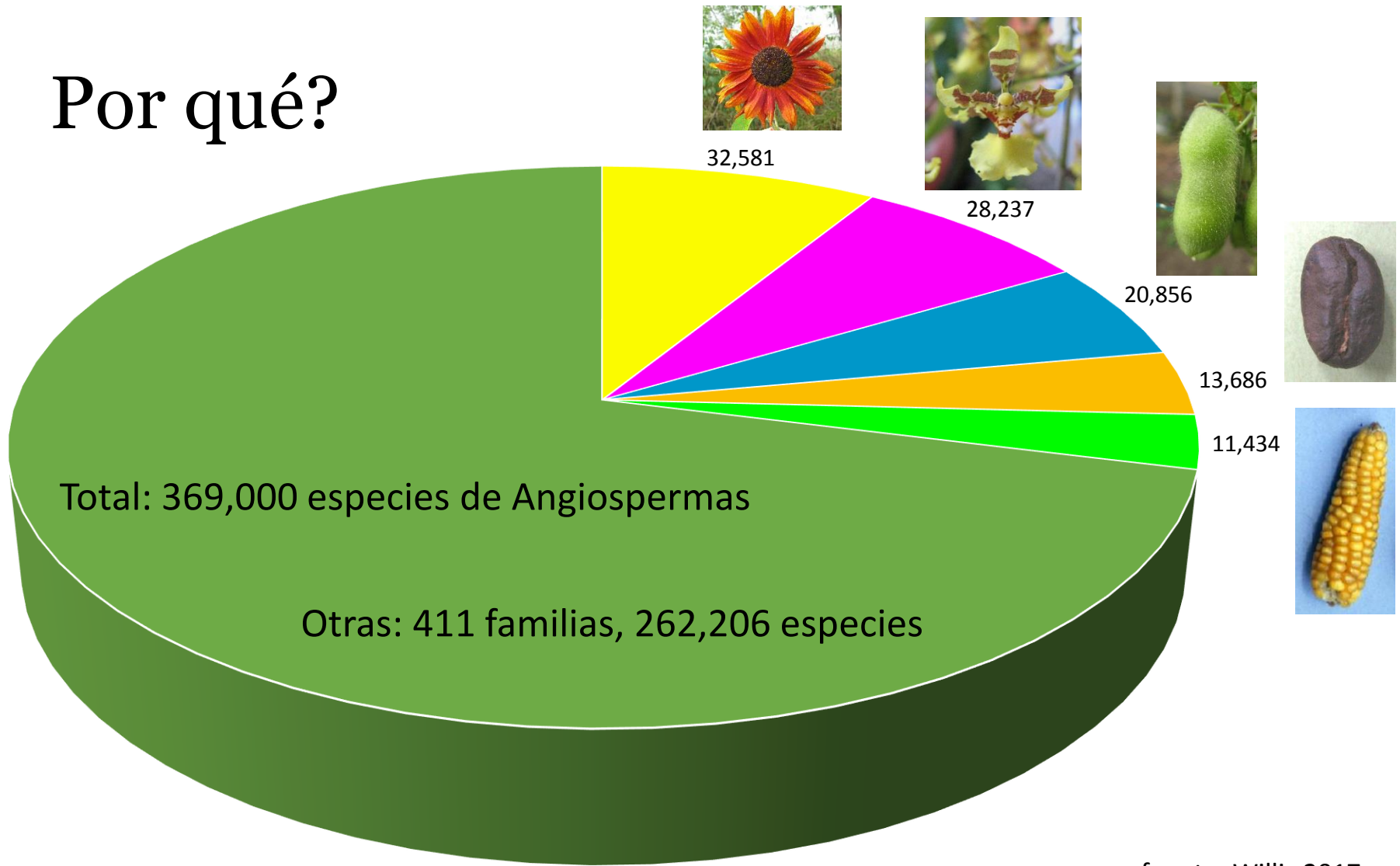
D.G. Debouck

@ Bogotá, 22 de abril de 2022



Unas pocas familias han contribuido la mayor parte de las especies cultivadas

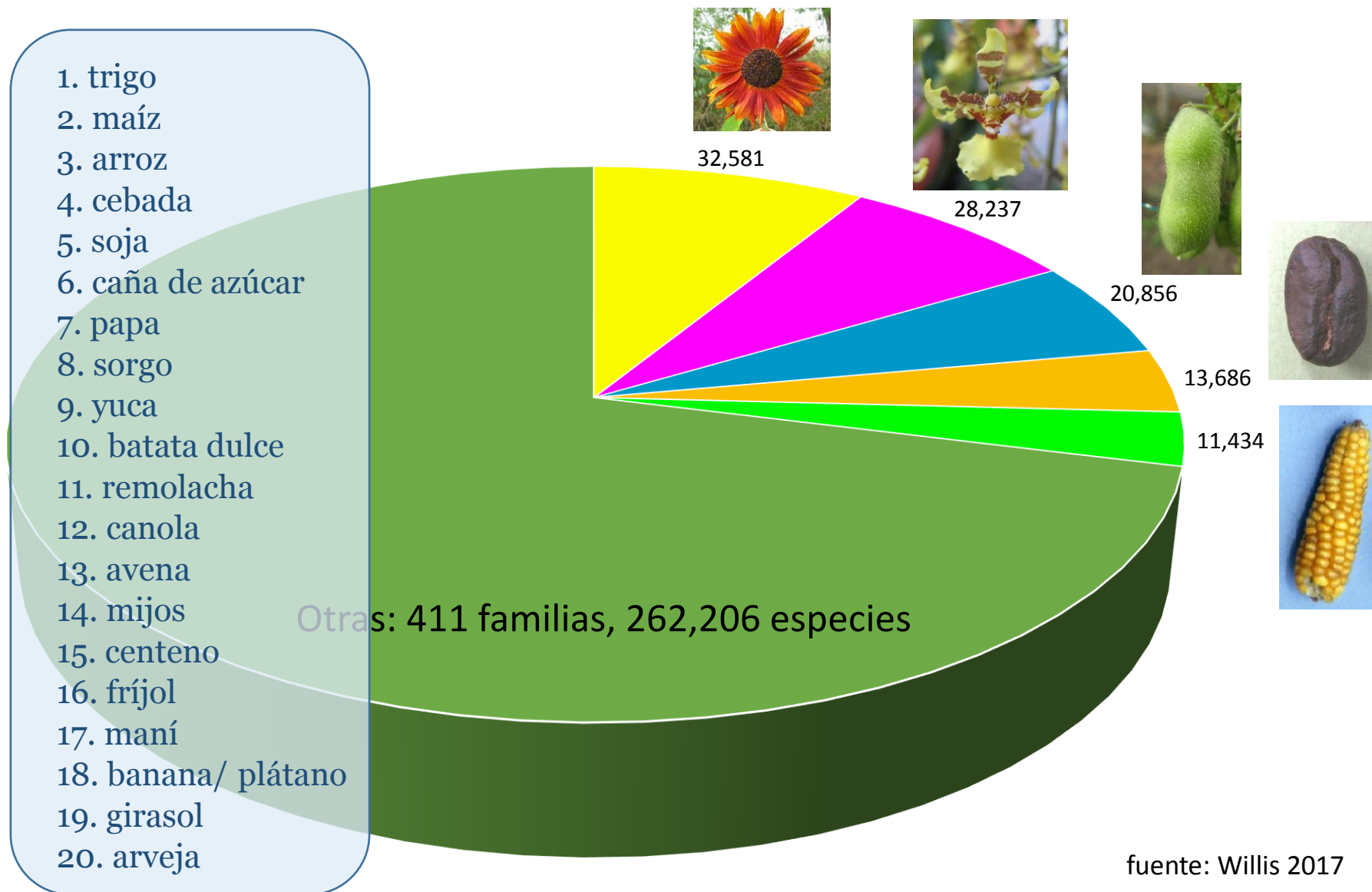
Por qué?



fuelle: Willis 2017

■ Asteraceae ■ Orchidaceae ■ Fabaceae ■ Rubiaceae ■ Poaceae ■ otras

Buena parte de la dieta humana diaria depende de unas 20 plantas



Si queremos romper esta dependencia riesgosa, debemos entender cómo ocurrió



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

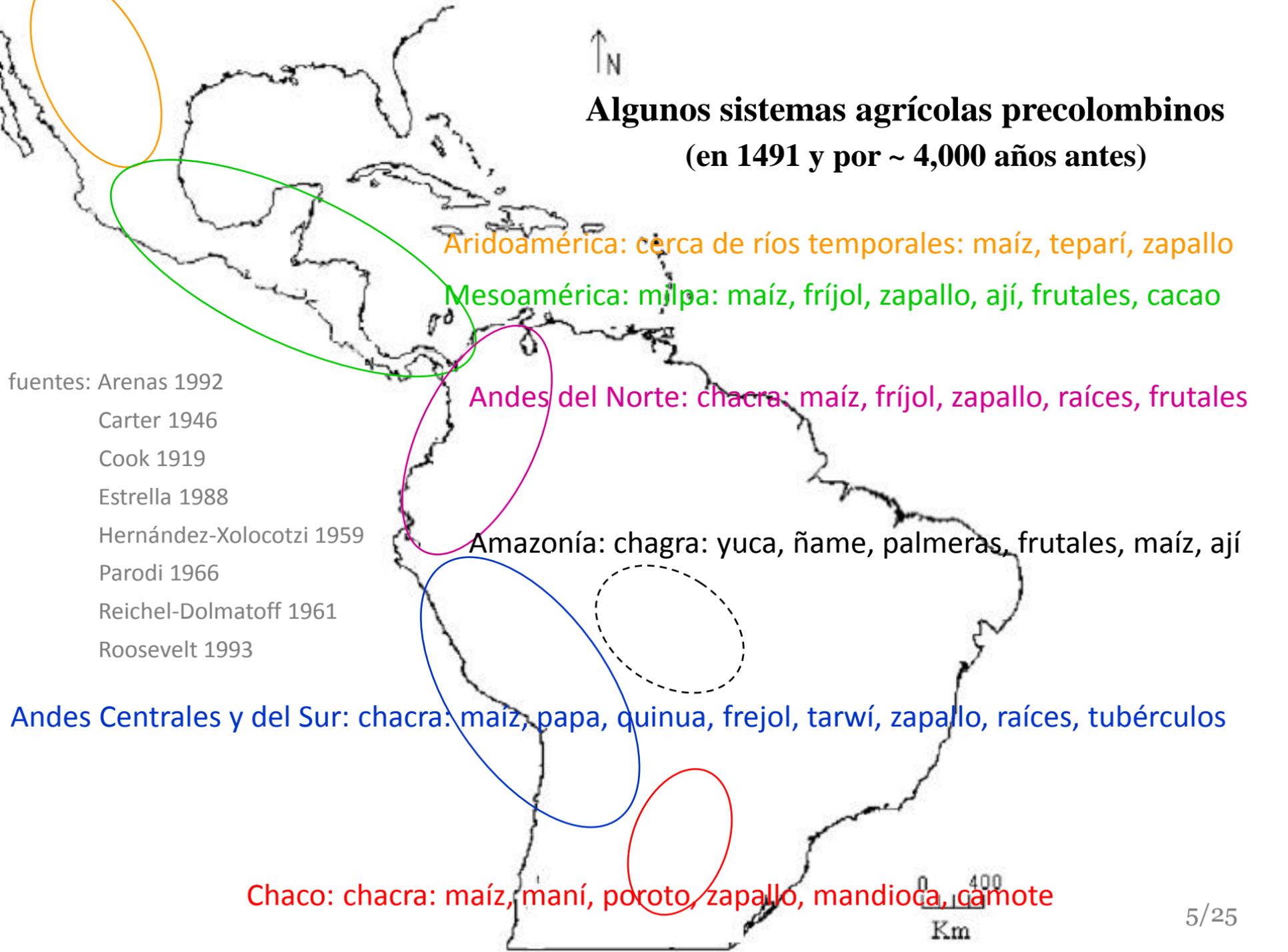
1. Razones ligadas a la domesticación, 8-12,000 años atrás
2. Razones ligadas a la ecología y a la genética de las mismas
3. Razones ligadas al comportamiento y biología del domesticador
4. Razones ligadas al mejoramiento científico desde 1890
5. Razón: el éxito llama al éxito + ley del esfuerzo mínimo
6. Razón: delegación a otros de preparar los alimentos

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



Algunos sistemas agrícolas precolombinos
(en 1491 y por ~ 4,000 años antes)

Aridoamérica: cerca de ríos temporales: maíz, teparí, zapallo

Mesoamérica: milpa: maíz, frijol, zapallo, ají, frutales, cacao

Andes del Norte: chacra: maíz, frijol, zapallo, raíces, frutales

Amazonía: chagra: yuca, ñame, palmeras, frutales, maíz, ají

Andes Centrales y del Sur: chacra: maíz, papa, quinua, frejol, tarwí, zapallo, raíces, tubérculos

Chaco: chacra: maíz, maní, poroto, zapallo, mandioca, camote

fuentes: Arenas 1992

Carter 1946

Cook 1919

Estrella 1988

Hernández-Xolocotzi 1959

Parodi 1966

Reichel-Dolmatoff 1961

Roosevelt 1993

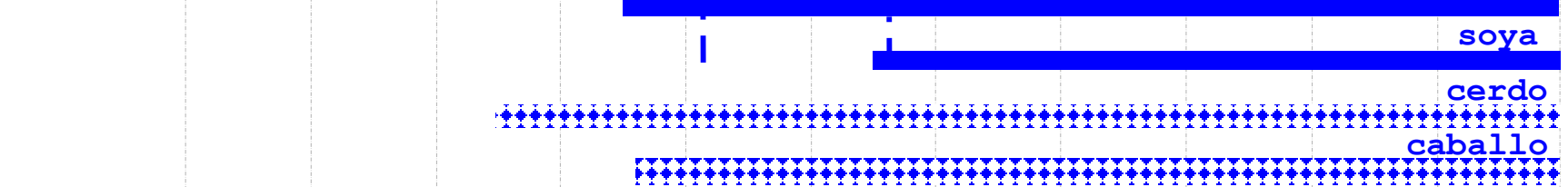
0 400
Km

Fechas más precisas: convergencia de datos arqueológicos y genéticos

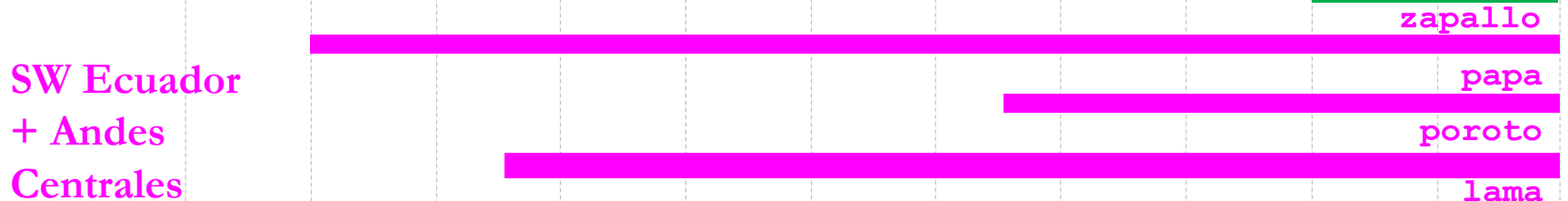
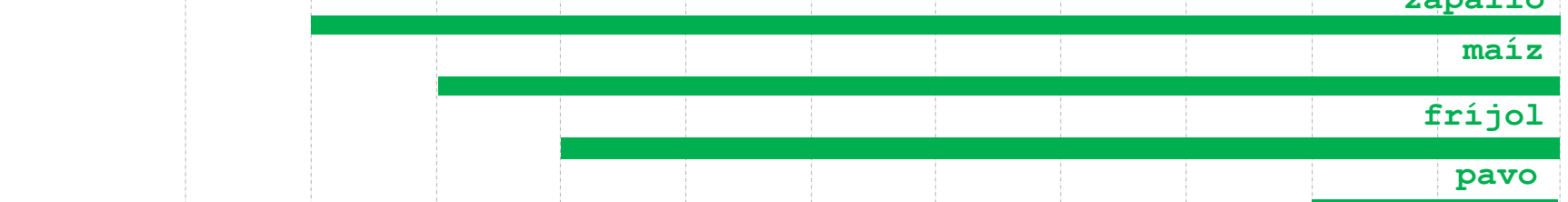
Creciente Fértil



Asia del Este



Mesoamérica



SW Ecuador + Andes Centrales



años a.C.

Cuál es la planta que dio origen al cultivo conocido hoy? ORIGEN BIOLÓGICO

- diferencias morfológicas ligadas al síndrome de domesticación (parte aprovechable)
- ADN de plastos (cp+mt; herencia materna) útil por pocos cambios vs domesticación

cultivo	pariente	evidencia	fuentes
fríjol común	<i>vulgaris</i> silv.	haplotipos de cpDNA revelados por secuenciación PCR; 26 microsatélites de secuencias génicas/ no génicas	Chacón et al. 2005; Kwak & Gepts 2009
maíz	<i>parviglumis</i>	99 microsatélites ; 32,739 marcadores SNPs	Matsuoka et al. 2002; Moreno-Letelier et al. 2020
yuca	<i>flabellifolia</i>	secuencias del locus <i>G3pdh</i> ; cinco microsatélites	Olsen & Schaal 1999, 2001
calabaza (pepo)	subsp. <i>fraterna</i> ?	intron del gen <i>nad1</i> de mtDNA	Sanjur et al. 2002

Cuando inicia la diferencia entre este pariente silvestre y su derivado cultivado?

- antiguos granos de almidón de mayor tamaño en comparación a los silvestres de hoy
- fitolitos cristales de *silicium*, en tejidos vegetales (e.g. Gramineae); propios de especie y hasta tejidos; fitolitos resisten a la cocción (Thompson 2006)

cultivo	diferencia	fecha a.P.	fuentes
fríjol (A)	tasa de cambio en nucleotidos en 13 loci (simulación)	8,500	Mamidi et al. 2011
	granos de almidón	9,000	Piperno & Dillehay 2008
maíz	tasa de mutación en nucleotidos en 33 loci (<i>vs</i> inbreds)	9,188	Matsuoka et al. 2002
	granos de almidón y fitolitos	8,700	Piperno et al. 2009
yuca	granos de almidón	9,000	Piperno 2012
calabaza	tamaño de semilla	9,900	Smith 1997, 2006

La aparición de la cerámica puede ser 2,000 años después del inicio de la domesticación pero en esta tabla los restos de plantas fueron encontrados en capas sin cerámica

cultivo	lugar; fecha años a.P.	fuentes
frejol	Guitarrero, Perú; 4,300	Kaplan & Lynch 1999
pallar	Chilca, Perú; 5,600	Kaplan & Lynch 1999
maíz	Xihuatoxtla, Gro., Mex.; 8,700	Piperno et al. 2009
yuca	Las Pircas, Perú; 7,950	Dillehay et al. 2007
zapallo	Las Pircas, Perú; 10,163	Dillehay et al. 2007

- ➡ cuando más hacia el pasado, sistemas mixtos producción y recolección-caza
- ➡ hubo sistemas agrícolas establecidos y productivos sin cerámica
- ➡ entonces existieron medios de aprovechar esta producción, sin cerámica

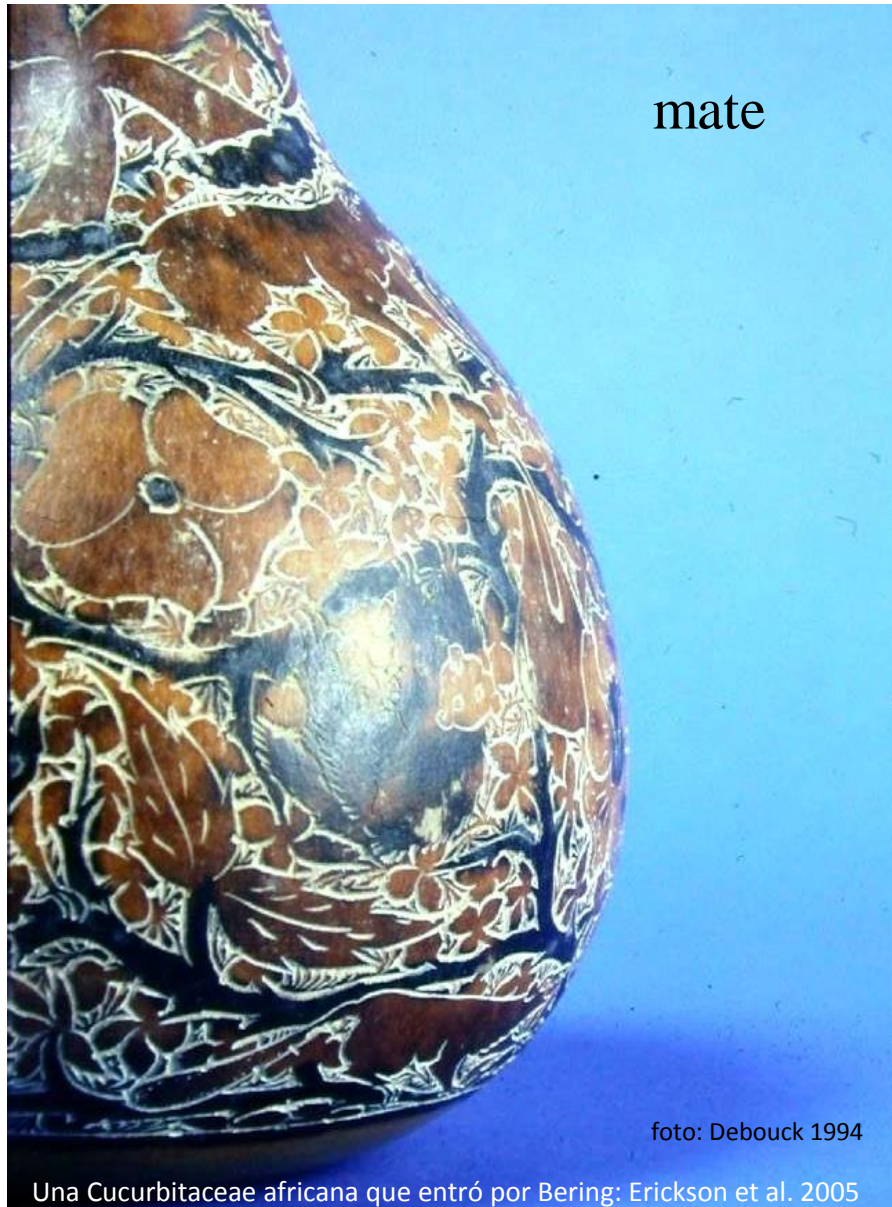
Compuestos antinutricionales encontrados en el pariente silvestre

- por la duración y los inicios locales de domesticación, los parientes son los mismos
- varios de estos compuestos son productos de defensa contra animales herbívoros

cultivo	compuestos	fuentes
fríjol	en semillas: lectinas, inhibidor de tripsina	Sotelo et al. 1995; van der Poel 1990
pallar	en semillas: los mismos + linamarina y lotaustralina	Viehoever 1940; Lai et al. 2020
maíz	en la mazorca y glumas: fitolitos	Iltis 2000; Piperno 2012
yuca	en la raíz: linamarina + lotaustralina	Perrut-Lima et al. 2014; Wilson 2003
calabaza	en el mesocarpo: cucurbitacinas; en semillas: inhibidor de tripsina	Lancaster et al. 1983; Schultes 1990; Wink & van Wyk 2008

- quitar/ neutralizar estos compuestos: lavar, moler, tratar con calor, fermentar; geofagia

Contenedores muy comunes desde 10,000 años, pero inservibles para la cocción de alimentos



mate

foto: Debouck 1994

Una Cucurbitaceae africana que entró por Bering: Erickson et al. 2005

Lagenaria siceraria



totumo

foto: Debouck 2022

Una Bignoniaceae nativa del Neotrópico: Heywood et al. 2007

Crescentia cujete

Entonces cómo, si se pudo?



ECUADOR, **Chimborazo**, Huigra, en el lugar llamado “Pagma”. Long. 78° 58’W. Lat. 02° 16’S. Alt. 1,710 m. 22 Junio 1989. En matorral de barranco mi soleado abierto con pendiente muy fuerte; con *P. polyanthus* n°. 2770 y *P. lunatus* (áun verde!). Con Compositae (*Bidens*), Lamiaceae, *Desmodium*. Suelo detrítico franco orgánico pardo derivado de andesitas. Escaso: 10-12 plantas. En vainas verdes. Tallos trepadores 1-2 m largo. Flor rosado intenso, alas prominentes, estandarte pequeño. Col. DG Debouck no. **2769**.

- “fríjol de paloma, fríjol de pichón”
- presupuesto para “pajarear”!
- 1-3 granos desde el pico faltantes
- la paloma/ gente lo come en verde, antes de la aparición de factores antinutricionales



importancia de las observaciones de la gente del lugar, *inter alia* hacia la fauna



casos similares: *Capsicum*, *Cucurbita*, *Manihot*

Lecturas adicionales: Andres 1987; Andrews 1992;

Debouck et al. 1993; Mühlen et al. 2019

foto: Debouck 1989

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

colecta de Junín, Perú



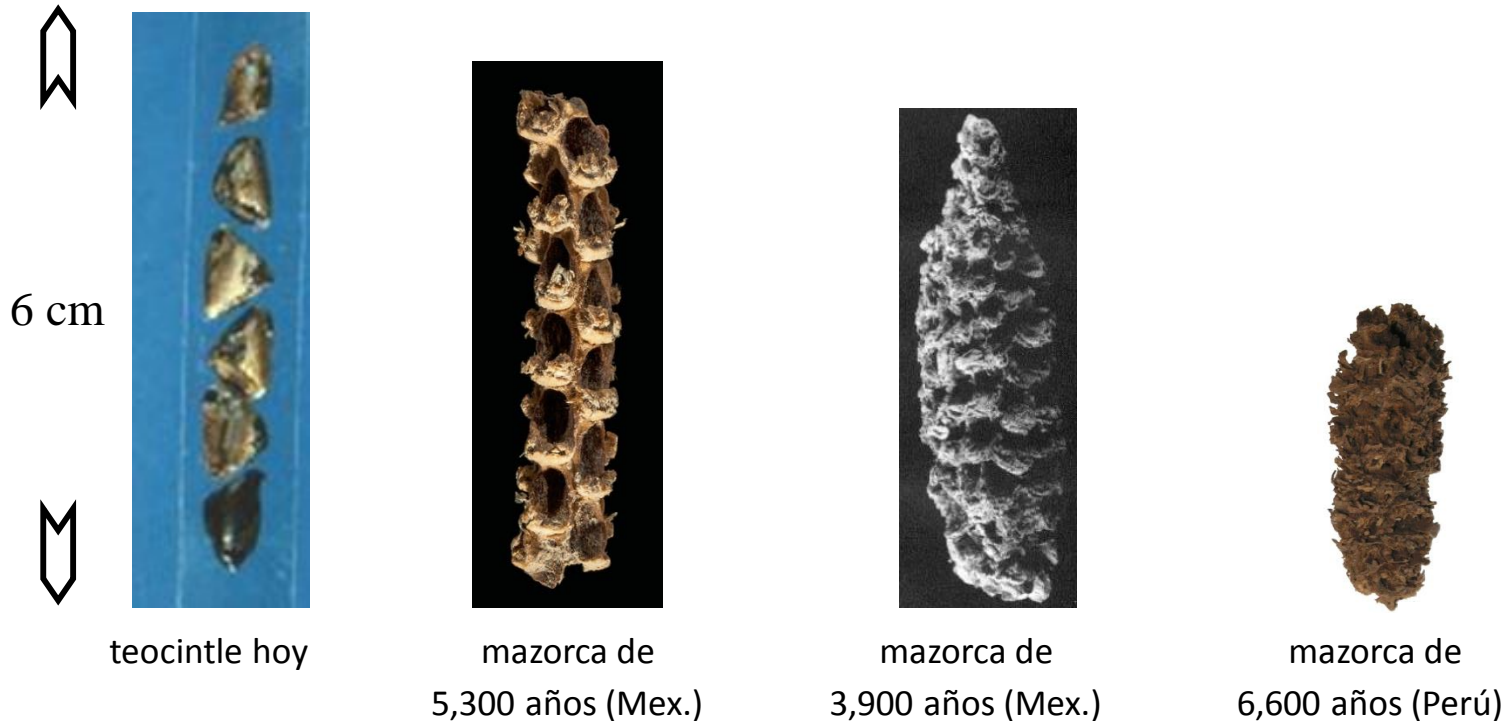
colecta de Cajamarca, Perú



- 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
- tostado antiguo: con pedazos de cal para distribuir el calor (relación con geofagia?!)

Progreso lento en la domesticación del maíz

- la gente consumió el teocintle (tostado): Beadle 1980, Benz 2001
- la domesticación del teocintle arrancó hace 9,000 años: Piperno 2012
- la 1^{ra} migración del maíz a Suramérica hace 7,000 años: Dickau et al. 2007



Por qué domesticar algo que va tan lento?

Lecturas adicionales: Grobman et al. 2012, Jaenicke-Després et al. 2003, Ramos-Madrigal et al. 2016, Vallebuena-Estrada et al. 2016

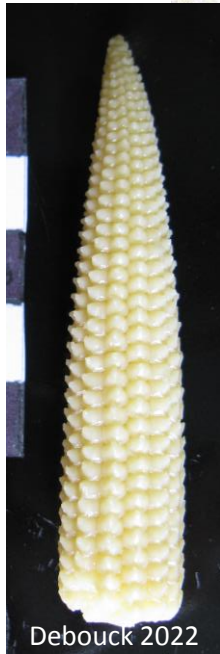


Una selección lenta que tuvo que tener un elemento ‘adictivo’

- dulce → tallos ‘machacados’ en sitios arqueológicos: Mangelsdorf et al. 1967
- mazorcas de teocintle consumidas en verde: Beadle 1977
- granos de teocintle consumidos por el huitlacoche: Munkacsi et al. 2008
- granos de teocintle consumidos tostados: Beadle 1939



Mangelsdorf 1967



Debouck 2022



du Port 1836



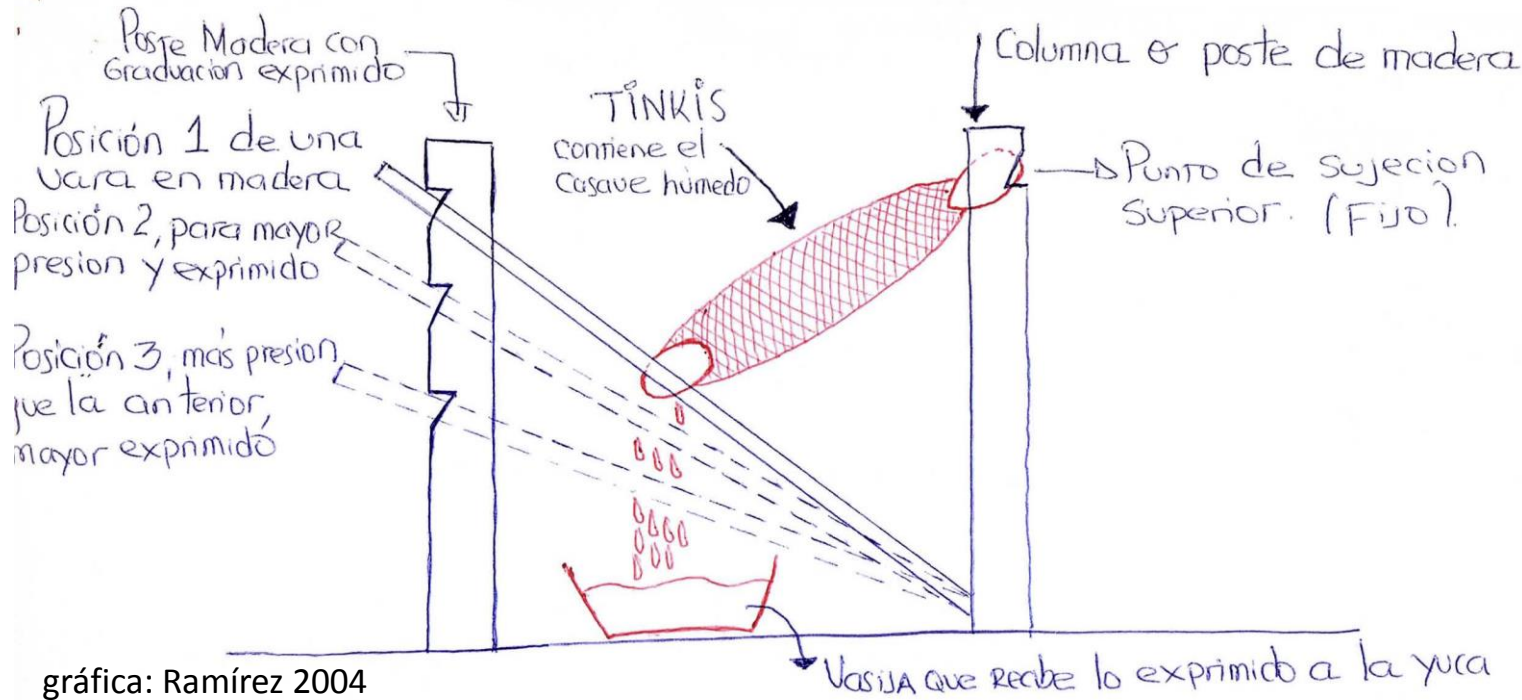
Debouck 2020

todas las razas primitivas fueron ‘popcorn’: alimento fácil de tostar y de llevar

tostado → cenizas, antecedente para el nixtamal? Liberará la niacina contra la ‘pellagra’!

No siempre el dulce es ganancia: el cultivo milenario de las yucas bravas

tipi-tipi, sebucán, tinkis (*Mauritia flexuosa* L.)



Razones por preferir la yuca amarga:

- mayor productividad
- mayor protección contra herbívoros de cuatro (y dos) patas

fuentes: Balick 1986, 1988; Jones 1959; Mühlén et al. 2019; Patiño 1990; Wilson 2003



Reflexiones finales

- La trampa de la dependencia de unos 20-30 cultivos es un *artefacto* nuestro; nos obliga a entender el camino de esta dependencia, más allá que el paso reciente
- El primer milenio de la domesticación (1/10 de la duración) no nos llevó al paraíso; posiblemente el foco de atención fue el manejo de los factores antinutricionales (letales)
Este milenio vio un elemento ‘adictivo’ – aún poco explorado - que incitó a continuar
- La presencia de factores antinutricionales argumenta en contra de domesticaciones múltiples
la mutación ‘non amargo’ en *C. fraterna* → un linaje de *C. pepo*
la mutación ‘non amargo’ en *M. flabellifolia* → un linaje de *M. esculenta*

Esta presencia contribuyó al efecto fundador, marcado en los cultivos neotropicales
desde allí el interés – justificado – en mejoramiento para los parientes silvestres de los cultivos
- Existen aún pistas de conocimientos populares ancestrales que tardan en documentarse

Referencias (1)

- Andres, T.C. 1987. *Cucurbita fraterna*, the closest wild relative and progenitor of *C. pepo*. *Cucurbit Genet. Coop.* 10: 69-71.
- Andrews, J. 1992. The peripatetic chili pepper: diffusion of the domesticated *Capsicums* since Columbus. *in*: "Chilies to chocolate - Food the Americas gave the world", N. Foster & L.S. Cordell (eds.). The University of Arizona Press. Tucson, Arizona, USA. Pp. 81-93.
- Arenas, P. 1992. El Chaco, su gente y las plantas. Universidad de Córdoba. Córdoba, Spain. 52p.
- Balick, M.J. 1986. Systematics and economic botany of the *Oenocarpus-Jessenia* (Palmae) complex. *Adv. Econ. Bot.* 3: 1-140.
- Balick, M.J. 1988. The use of palms by the Apinayé and Guajajara Indians of northeastern Brazil. *Adv. Econ. Bot.* 6: 65-90.
- Beadle, G.W. 1939. Teosinte and the origin of maize. *J. Hered.* 30: 245-247.
- Beadle, G.W. 1977. The origin of *Zea mays*. *in*: "Origins of agriculture", C.A. Reed (ed.). Mouton Publishers. The Hague, The Netherlands. Pp. 615-635.
- Beadle, G.W. 1980. The ancestry of corn. *Scient. Amer.* 242 (1): 96-103.
- Benz, B.F. 2001. Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz, Oaxaca. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98 (4): 2104-2106.
- Brothwell, D.R. 1969. Dietary variation and the biology of earlier human populations. *in*: "The domestication and exploitation of plants and animals", P.J. Ucko and G.W. Dimbleby (eds.). Duckworth and Company. London, England. Pp. 531-545.
- Carter, G.F. 1946. Origins of American Indian agriculture. *Amer. Anthropol.* 48 (1): 1-21.
- Clark, J.E. & D. Gosser. 1995. Reinventing Mesoamerica's first pottery. *in*: "The emergence of pottery - Technology and innovation in ancient societies", W.K. Barnett & J.W. Hoopes (eds.). Smithsonian Institution Press. Washington, D.C., USA. Pp. 209-221.
- Cook, O.F. 1919. Milpa agriculture, a primitive tropical system. *Smithsonian Inst. Washington Annu. Rept.* Pp. 307-326.

Referencias (2)

- Debouck, D.G. 2000. Genetic resources of *Phaseolus* beans: patterns in time, space, and people. *in*: "La judía en un nuevo marco de calidad", 2^{do} Seminario de Judía de la Península Ibérica, M.A. Fueyo Olmo, A.J. González Fernández, J.J. Ferreira Fernández, R. Giraldez Ceballos-Escalera (eds.). Asturgraf, Villaviciosa, Asturias, Spain. Pp. 17-39.
- 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.
- Diamond, J. 2002. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature* 418 (6898): 700-707.
- Dickau, R., A.J. Ranere & R.G. Cooke. 2007. Starch grain evidence for the preceramic dispersals of maize and root crops into tropical dry and humid forests of Panama. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104 (9): 3651-3656.
- Dillehay, T.D., J. Rossen, T.C. Andres & D.E. Williams. 2007. Preceramic adoption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. *Science* 316 (5833): 1890-1893.
- Erickson, D.L., B.D. Smith, A.C. Clarke, D.H. Sandweiss & N. Tuross. 2005. An Asian origin for a 10,000-year-old domesticated plant in the Americas. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102 (51): 18315-18320.
- Estrella, E. 1988. *El pan de América*. Ediciones Abya-Yala. Quito, Ecuador. 390p.
- 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.
- Gade, D.W. 1999. *Nature and culture in the Andes*. The University of Wisconsin Press. Madison, Wisconsin, USA. 287p.
- Gepts, P. 2006. Plant genetic resources conservation and utilization: the accomplishments and future of a societal insurance policy. *Crop Sci.* 46 (5): 2278-2292.
- Grobman, A., W. Salhuana, R. Sevilla & P.C. Mangelsdorf. 1961. Races of maize in Peru: their origins, evolution and classification. National Academy of Sciences, National Research Council. Washington, D.C., USA. 374p.
- Grobman, A., D. Bonavia, T.D. Dillehay, D.R. Piperno, J. Iriarte & I. Holst. 2012. Preceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109 (5): 1755-1759.

Referencias (3)

- 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. 1992. Crops and man. 2nd edition. American Society of Agronomy, Inc. and Crop Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 284p.
- Heiser, C.B. 1990. Seed to civilization – The story of food. New edition. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA. 228p.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1959. La agricultura en la Península de Yucatán. *in*: “Los recursos naturales del Sureste y su aprovechamiento”, E. Beltrán (ed.). Edic. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. México 2 (3): 3-57.
- Heywood, V.H., R.K. Brummitt, A. Culham & O. Seberg. 2007. Flowering plant families of the world. Firefly Books Ltd. Richmond Hill, Ontario, Canada. 424p.
- Iltis, H.H. 2000. Homeotic sexual translocations and the origin of maize (*Zea mays*, Poaceae): a new look at an old problem. *Econ. Bot.* 54 (1): 7-42.
- Jaenicke-Després, V., E.S. Buckler, B.D. Smith, M.T.P. Gilbert, A. Cooper, J. Doebley & S. Pääbo. 2003. Early allelic selection in maize as revealed by ancient DNA. *Science* 302: 1206-1208.
- Jones, W.O. 1959. Manioc in Africa. Stanford University Press. Stanford, California, USA. 315p.
- Johns, T. 1990. With bitter herbs they shall eat it: chemical ecology and the origins of human diet and medicine. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona, USA. 356p.
- Johns, T. & I. Kubo. 1988. A survey of traditional methods employed for the detoxification of plant foods. *J. Ethnobiol.* 8 (1): 81-129.
- 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.
- Katz, S.H., M.L. Hediger & L.A. Valleroy. 1974. Traditional maize processing techniques in the New World. *Science* 184 (4138): 765-773.
- Khoshbakht, K. & K. Hammer. 2008. How many plant species are cultivated? *Genet. Resources & Crop Evol.* 55 (7): 925-928.

Referencias (4)

- Khoury, C.K., A.D. Bjorkman, H. Dempewolf, J. Ramirez-Villegas, L. Guarino, A. Jarvis, L.H. Rieseberg & P.C. Struik. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111 (11): 4001-4006.
- Lai, D., A.B. Maimann, E. Macea, C.H. Ocampo, G. Cardona, M. Picmanová, B. Darbani, C.E. Olsen, D.G. Debouck, B. Raatz, B. Lindberg Müller & F. Rook. 2020. Biosynthesis of cyanogenic glucosides in *Phaseolus lunatus* and the evolution of oxime-based defenses. *Plant Direct* 4 (8): 1-13.
- Lancaster, M., R. Storey & N.W. Bower. 1983. Nutritional evaluation of the buffalo gourd: elemental analysis of seed. *Econ. Bot.* 37 (3): 306-309.
- 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.
- Leopold, A.C. & R. Ardrey. 1972. Toxic substances in plants and the food habits of early man. *Science* 176: 512-514.
- Liener, I.E. 1980. Heat-labile antinutritional factors. *in*: "Advances in legume science", R.J. Summerfield & A.H. Bunting (eds.). Royal Botanic Gardens. Kew, England. Pp. 157-170.
- 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.
- 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.

Referencias (5)

- 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).
- Mühlen, G.S., A. Alves-Perreira, C.R.L. Carvalho, A.B. Junqueira, C.R. Clement & T.L. Valle. 2019. Genetic diversity and population structure show different patterns of diffusion for bitter and sweet manioc in Brazil. *Genet. Resources & Crop Evol.* 66 (8): 1773-1790.
- Munkacsi, A.B., S. Stoxen & G. May. 2008. *Ustilago maydis* populations tracked maize through domestication and cultivation in the Americas. *Proc. Roy. Soc. B.* 275 (1638): 1037-1046.
- 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.
- Nowacki, E. 1980. Heat stable antinutritional factors in leguminous plants. *in*: "Advances in legume science", R.J. Summerfield & A.H. Bunting (eds.). Royal Botanic Gardens. Kew, England. Pp. 171-177.
- Olsen, K.M. & B.A. Schaal. 1999. Evidence on the origin of cassava: phylogeography of *Manihot esculenta*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96 (10): 5586-5591.
- Olsen, K.M. & B.A. Schaal. 2001. Microsatellite variation in cassava (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) and its wild relatives: further evidence for a southern Amazonian origin of domestication. *Amer. J. Bot.* 88 (1): 131-142.
- Parodi, L.R. 1966. La agricultura aborigen argentina. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Eudeba. Buenos Aires, Argentina. 48p.
- Patiño, V.M. 1990. Historia de la cultura material en la América equinoccial. Tomo 1. Alimentación y alimentos. Instituto Caro y Cuervo. Biblioteca Ezequiel Uricochea. Bogotá, Colombia. 345p.
- Perrut-Lima, P., G.S. Mühlen & C.R.L. Carvalho. 2014. Cyanogenic glycoside content of *Manihot esculenta* subsp. *flabellifolia* in south-central Rondônia, Brazil, in the center of domestication of *M. esculenta* subsp. *esculenta*. *Genet. Resour. Crop Evol.* 61 (6): 1035-1038.
- Piperno, D.R. 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.

Referencias (6)

- 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.
- Ramos-Madrigal, J., B.D. Smith, J.V. Moreno-Mayar, S. Gopalakrishnan, J. Ross-Ibarra, M.T.P. Gilbert & N. Wales. 2016. Genome sequence of a 5,310-year-old maize cob provides insights into early stages of maize domestication. *Curr. Biol.* 26 (23): 3195-3201.
- Reichel-Dolmatoff, G. 1961. The agricultural basis of the sub-andean chiefdoms of Colombia. *in*: "The evolution of horticultural systems in native South America: causes and consequences", J. Wilbert (ed.). Sociedad de Ciencias Naturales. Caracas, Venezuela. Pp. 83-100.
- Reichel-Dolmatoff, G. 1985. Monsú - Un sitio arqueológico. Biblioteca Banco Popular, Textos Universitarios. Bogotá, D.C., Colombia. 226p.
- Roosevelt, A.C. 1993. The rise and fall of the Amazon chiefdoms. *L'Homme* 33 (2-4): 255-283.
- Royal Botanic Gardens Kew. 2016. The state of the world's plants report – 2016. Royal Botanic Gardens. Kew, England. 84p.
- 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.
- Schultes, R.E. 1990. Biodynamic cucurbits in the New World tropics. *in*: "Biology and utilization of the Cucurbitaceae", D.M. Bates, R.W. Robinson & C. Jeffrey (eds.). Cornell University Press. Ithaca, New York, USA. Pp. 307-317.
- Smith, B.D. 1997. The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 years ago. *Science* 276: 932-934.
- Smith, B.D. 2006. Seed size increase as a marker of domestication in squash (*Cucurbita pepo*). *in*: "Documenting domestication: new genetic and archaeological paradigms", M.A. Zeder, D.G. Bradley, E. Emshwiller & B.D. Smith (eds.). University of California Press, Berkeley, California, USA. Pp. 25-31.

Referencias (7)

- Sotelo, A., H. Sousa & M. Sánchez. 1995. Comparative study of the chemical composition of wild and cultivated beans (*Phaseolus vulgaris*). Plant Foods Hum. Nutr. 47 (2): 93-100.
- Spengler III, R.N. 2020. Anthropogenic seed dispersal: rethinking the origins of plant domestication. Trends Plant Sci. 25 (4): 340-348.
- Thompson, R.G. 2006. Documenting the presence of maize in Central and South America through phytolith analysis of food residues. in: "Documenting domestication: new genetic and archaeological paradigms", M.A. Zeder, D.G. Bradley, E. Emshwiller & B.D. Smith (eds.). University of California Press, Berkeley, California, USA. Pp. 82-95.
- 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.
- Vallebuena-Estrada, M., I. Rodríguez-Arévalo, A. Rougon-Cardoso, J. Martínez-González, A. García-Cook, R. Montiel & J.P. Vielle-Calzada. 2016. The earliest maize from San Marcos Tehuacán is a partial domesticate with genomic evidence of inbreeding. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 113 (49): 14151-14156.
- van Beem, J., J. Kornegay & L. Lareo. 1992. Nutritive value of the nuña popping bean. Econ. Bot. 46 (2): 164-170.
- van der Poel, A.F.B. 1990. Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). A review. Anim. Feed Sci. Technol. 29 (3-4): 179-208.
- Viehoever, A. 1940. Edible and poisonous beans of the Lima type (*Phaseolus lunatus* L.). A comparative study, including other similar beans. Thai Sci. Bull. 2 (1): 1-109.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts & E. Hernández-Xolocotzi. 1952. Races of maize in Mexico. Their origin, characteristics and distribution. Bussey Institution, Harvard University. Harvard, Massachusetts, USA. 223p.
- 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.
- Wilson, W.M. 2003. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz), cyanogenic potential, and predation in northwestern Amazonia: the Tukanoan perspective. Human Ecol. 31 (3): 403-416.
- Wink, M. & B.E. van Wyk. 2008. Mind-altering and poisonous plants of the world. Timber Press Inc. Portland, Oregon, USA. 464p.
- Zimmerer, K.S. 1992. Biological diversity and local development: "Popping beans" in the Central Andes. Mountain Res. Dev. 12 (1): 47-61.



Muchas gracias!

información adicional: D.Debouck@cgiar.org