

Alliance



El inicio del arroz americano, y su relevancia para la mejora hoy

D.G. Debouck

Palmira, 14 de octubre de 2022



Menu

Origen

Sopas

Sopa de Cangrejo

Caazuela de Mariscos

Hervido de Gumarra

Sopa de Frijoles verdes

Valle Pacífico

Cauca Pacífico

Chocó

Antioquia

Llanos

Vichada

Valle

Boyacá

Santanderes

Costa Atlántica

Tolima Grande

Principios

Arroz con Coco

Atollado de Almejas

Guiso de Vitoria

Palo a pique

Platos

Arroz tapado

Bagre sudado

Bandeja paisa

Lechona

Sancocho de Cola

Sancocho de Gallina

Chanfaina

Tamales vallunos

Pepitoria de Chivo

Arroz con Pollo

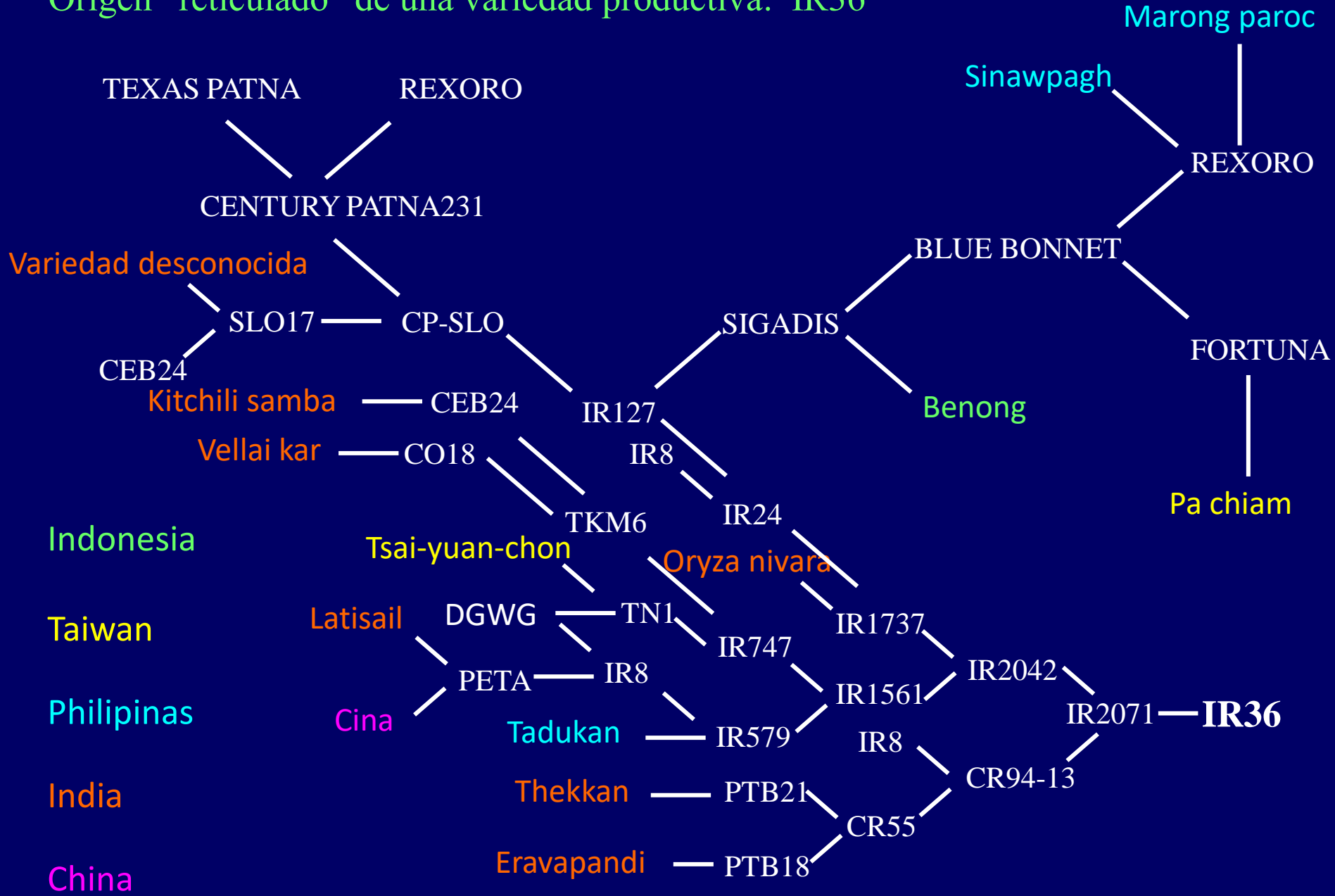
Postres

Arroz con Leche

Torta de Arroz

un pocillo de 100-120 g/ día
40 kg/ año/ persona

Origen "reticulado" de una variedad productiva: IR36

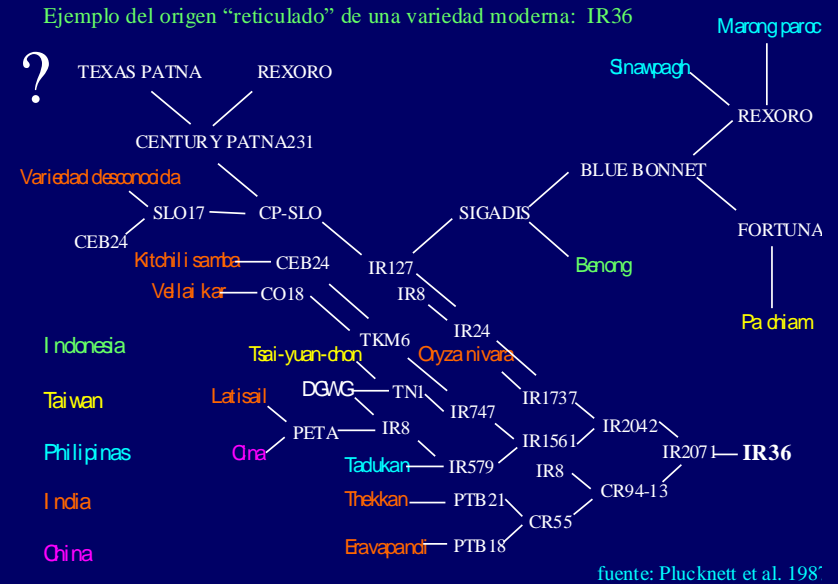


fuente: Plucknett et al. 1987

Qué nos enseña el caso del IR36 ?

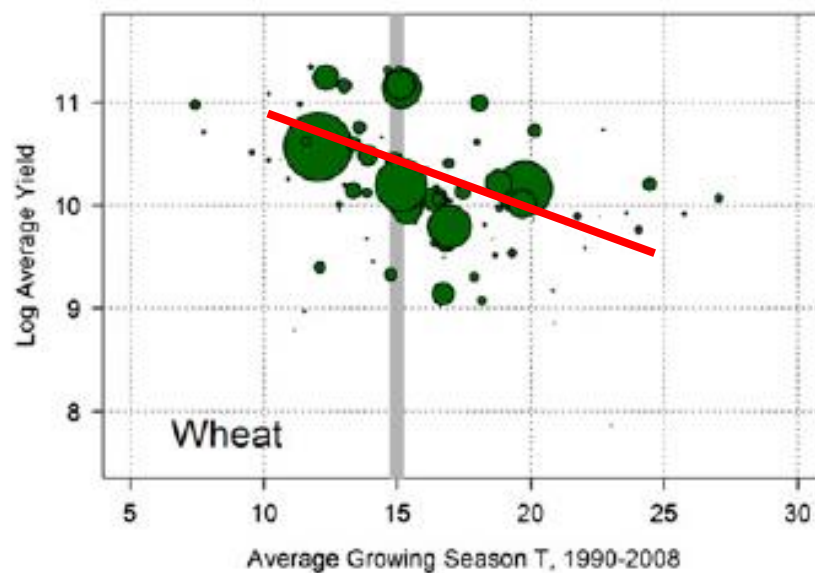
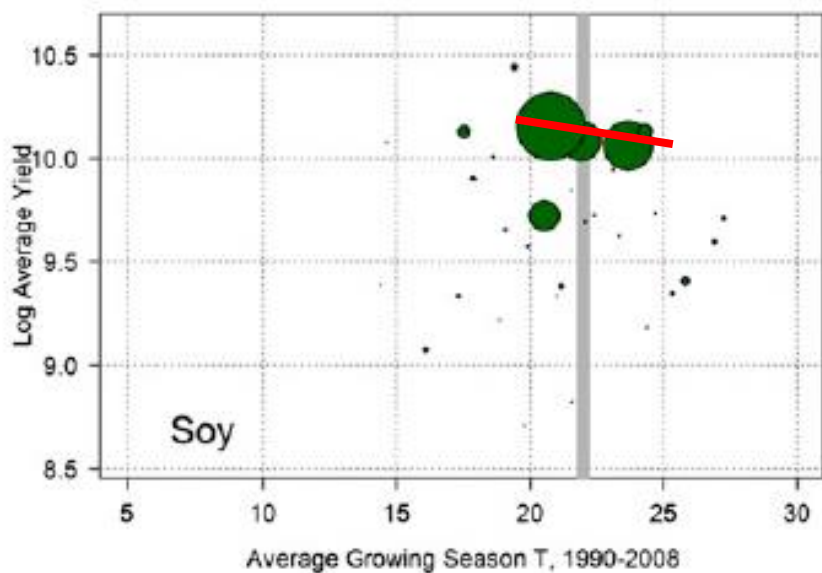
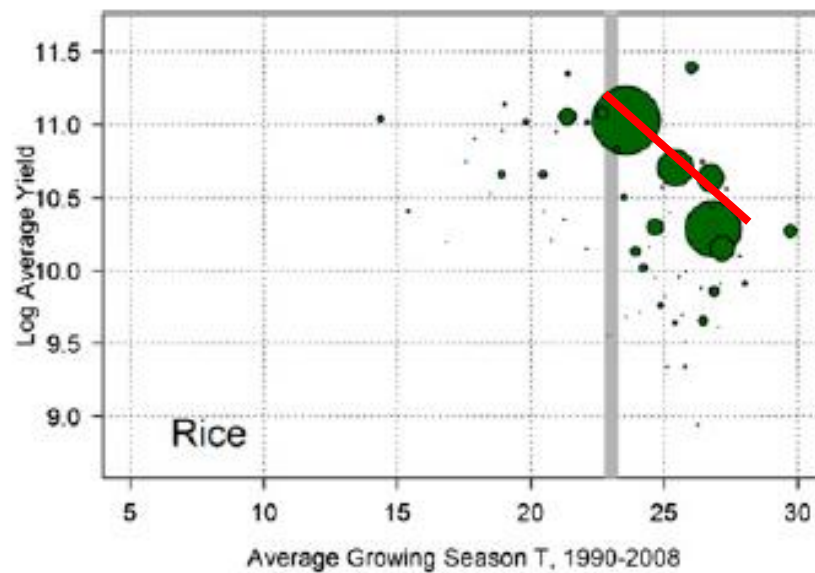
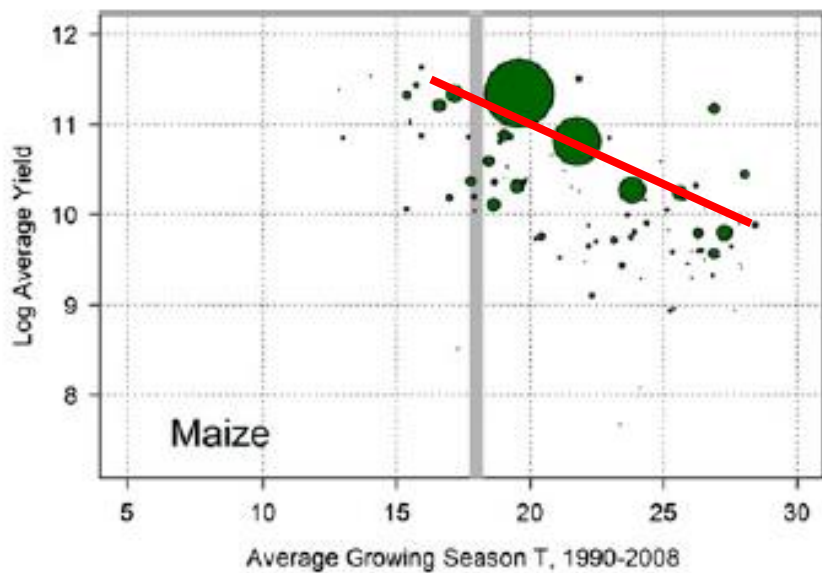
in the 1980s it was estimated that over 10% of the world's rice land was sown with this one variety

fuelle: Davidson 2006



- Genes de interés vienen de variedades tanto modernas como tradicionales
- La fecha de desarrollo de las mismas no importa
- Genes de interés vienen de varias áreas geográficas sin poder predecir
- Genes de interés vienen tanto de la especie en mejora que de otras
- Genes de resistencia al GSV vienen únicamente de *Oryza nivara*

Bajo calentamiento global, cómo andarían los productores, para 4 cultivos clave ?



América tropical (4?)

África (7)

Asia (13)

Australia (2)

Oryza: un género con aprox. 26 especies

Especies diploides (16)

glumaepatula (AA)

glaberrima (AA)

sativa (AA)

meridionalis (AA)

barthii (AA)

nivara (AA)

australiensis (EE)

longistaminata (AA)

rufipogon (AA)

officinalis (CC)

punctata (BB)

rhizomatis (CC)

eichingeri (CC)

granulata (GG)

brachyantha (FF)

meyeriana (GG)



Especies tetraploides (10)

alta (CCDD)

punctata (BBCC)

longiglumis (HHJJ)

schlechteri (HHKK)

latifolia (CCDD)

malampuzhaensis (BBCC)

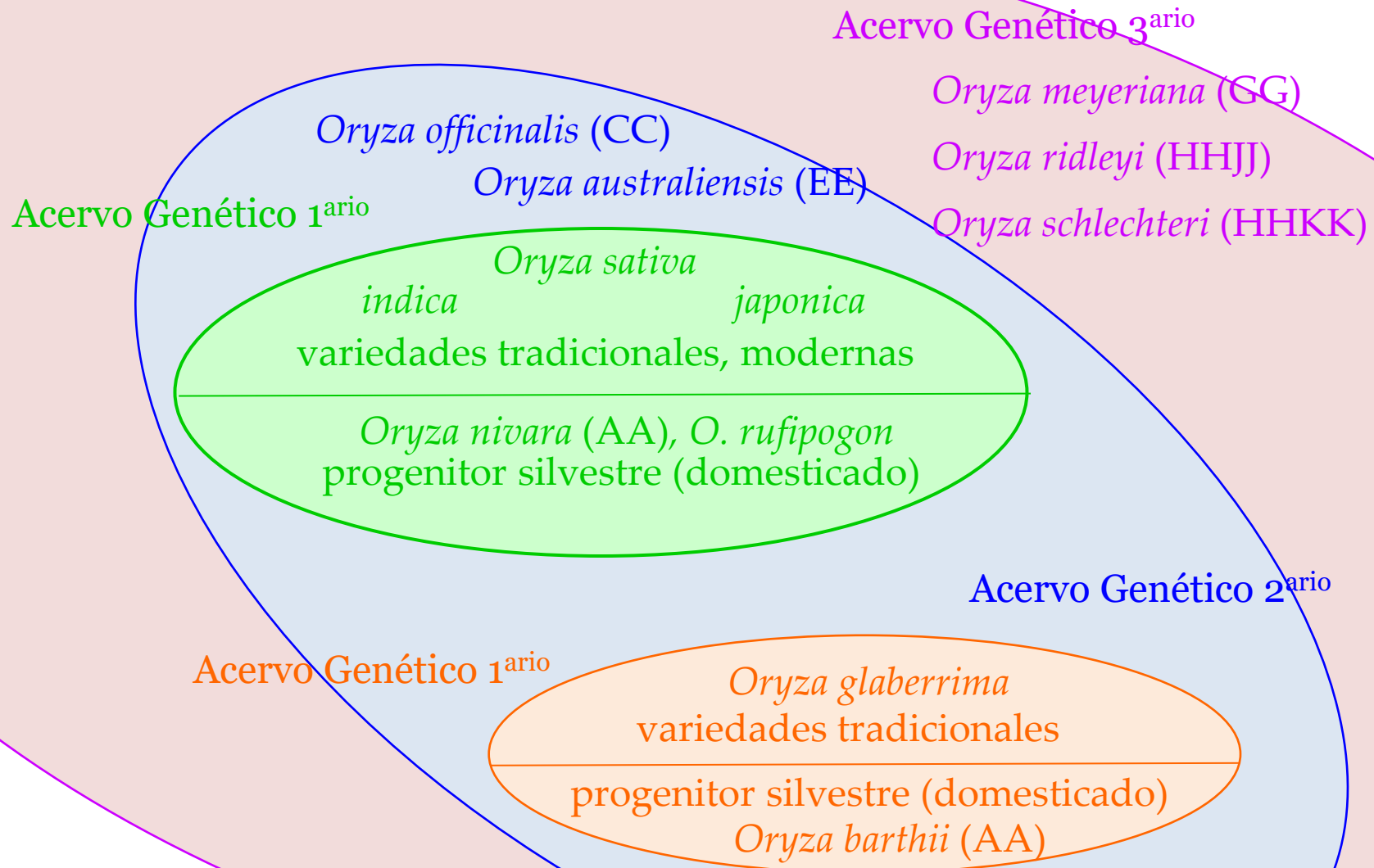
minuta (BBCC)

grandiglumis (CCDD)

ridleyi (HHJJ)

coarctata (HHKK)

Qué se entiende como recurso genético en arroz?



Por qué invertir tiempo y esfuerzos en los silvestres?

resistencia a plagas y enfermedades (lógica = duración de la co-evolución)

O. nivara (AA): resistencia a bacteriosis (Jena 2010) y Grassy Stunt Virus (Khush & Ling 1974)

O. rufipogon (AA): resistencia a bacteriosis (Jena 2010) y Tungro Virus (Ikeda et al. 1994)

O. longistaminata (AA): resistencia a bacteriosis (Khush et al. 1990)

O. officinalis (CC): resistencia a thrips y chicharita (Khush 1997)

O. latifolia (CCDD): resistencia a chicharita y Tungro Virus (Ikeda et al. 1994)

O. longiglumis (HHJJ): resistencia a bacteriosis y quema del arroz (Jena 2010)

tolerancia a factores abióticos adversos

O. australiensis (EE): escape a sequía (Khush 1997; Atwell et al. 2014)

O. brachyantha (FF): suelos ácidos (Khush 1997)

O. granulata (GG): temperaturas bajas (Atwell et al. 2014)

QTLs para aumentar rendimiento en *sativa*, desde *rufipogon* de Malasia

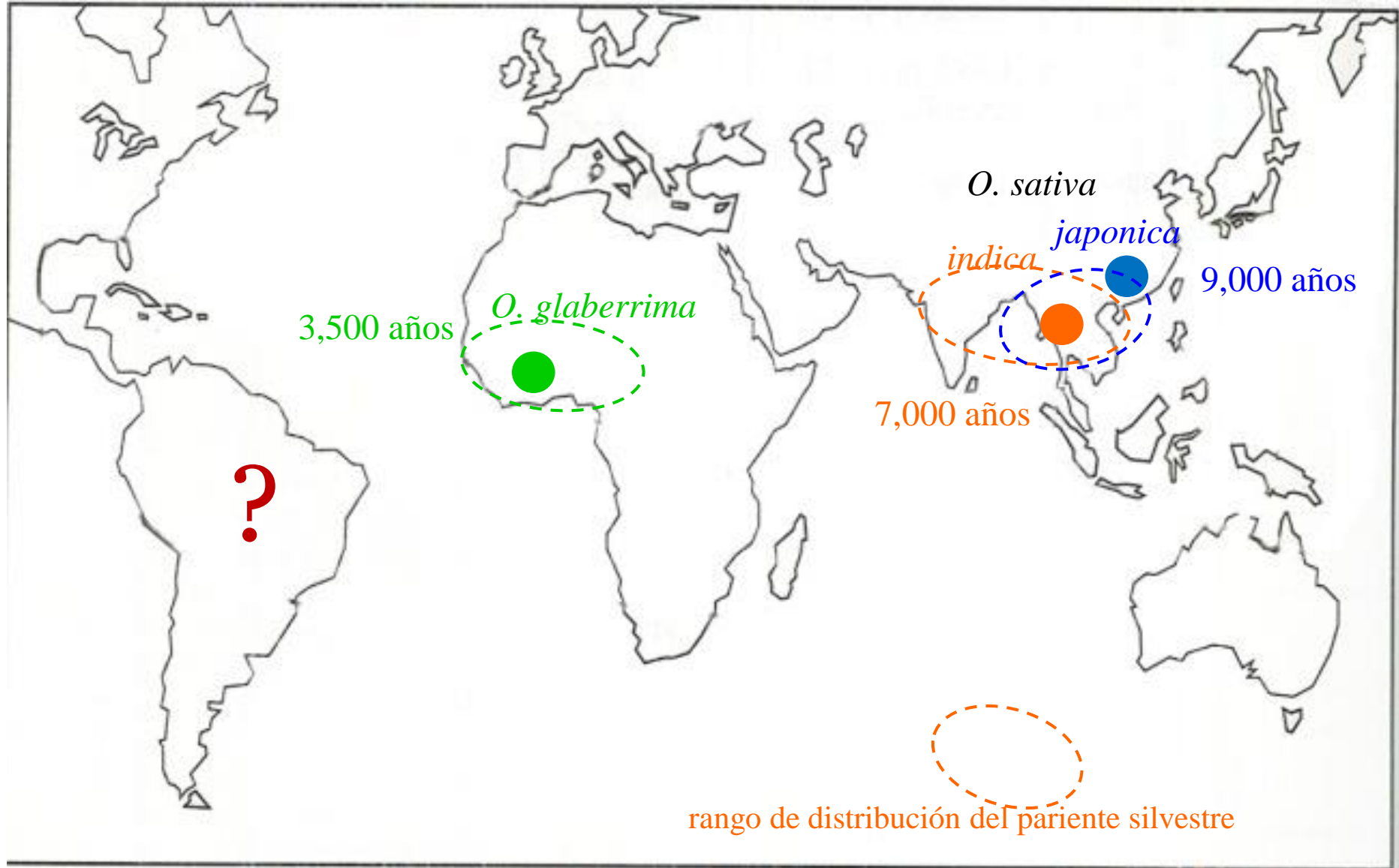
(McCouch et al. 2007, Moncada et al. 2001, Xiao et al. 1998)

fuentes de CMS para la producción de arroz híbrido

O. rufipogon (AA) (Lin & Yuan 1980; Jena 2010)

O. glumaepatula (AA) (Brar & Khush 1997; Dalmacio et al. 1986)

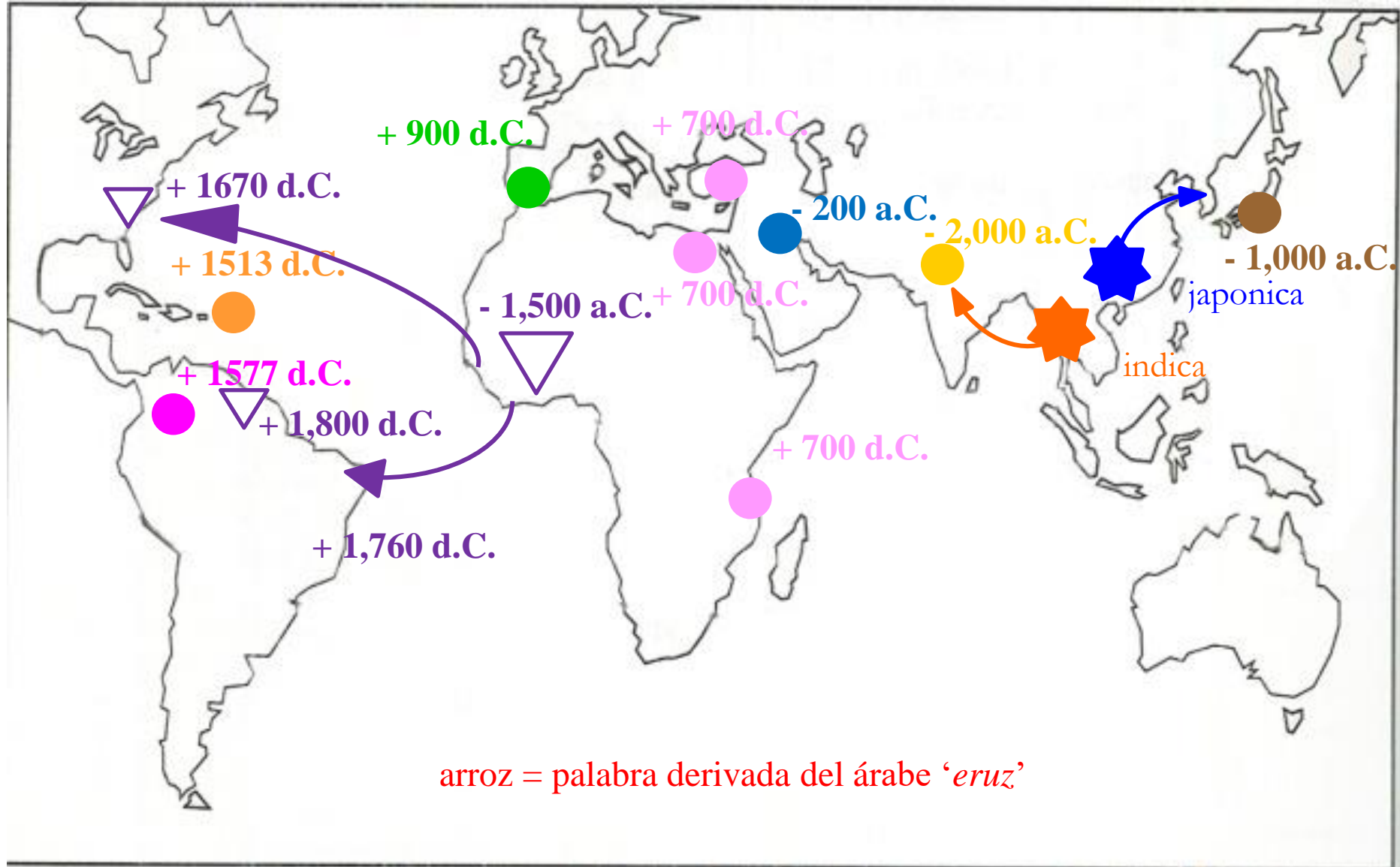
Sitios y fechas de domesticación (a.P.)



fuentes: Bar-Yosef 2012, Cheng et al. 2003, Choi et al. 2017, Civán et al. 2015, Gross & Zhao 2014, Gutaker et al. 2020, Londo et al. 2006

McCouch et al. 2012, Molina et al. 2011, Vaughan & Morishima 2003, Vitte et al. 2004, Wang et al. 2014

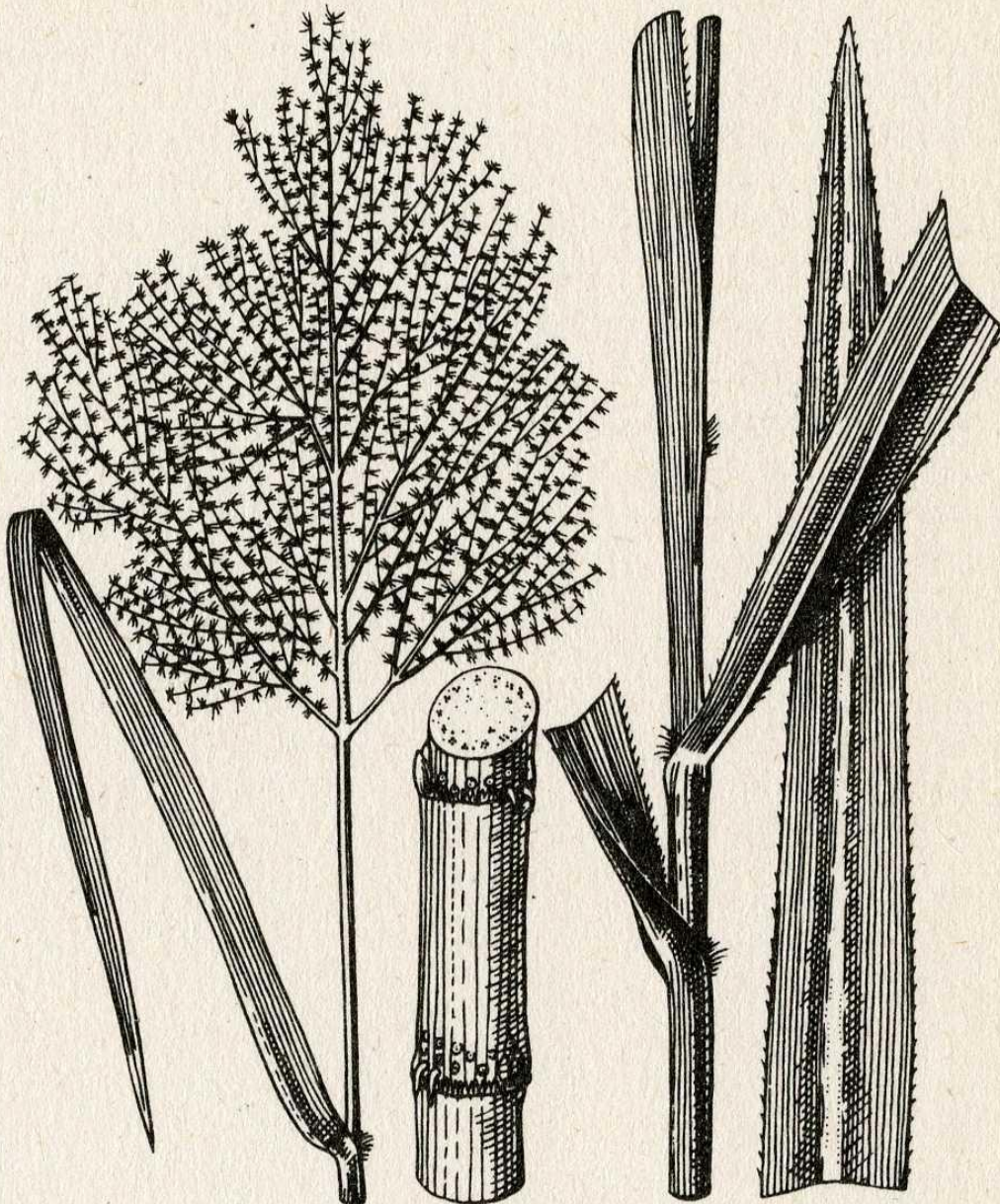
Las migraciones . . .



Caña de azúcar

Saccharum officinarum L.

- proviene de *Saccharum robustum*
- proviene de Papua Nueva Guinea
- planta heliófita de riberas de río
- escasa producción de semillas
- se multiplica por estacas
- escasa abscisión foliar
- peluza cortante en bordes de hojas
- tentación de quemar para la zafra
- jugo con 16-17% de sucrosa
- extracción debe ser rápida
- introducida en Sto Domingo en 1493



dibujo desde Hobhouse 1987

Introducción del ganado en Sto Domingo (1493) y brote de viruela allí (1507)



fuelle: Codex Florentino 1548-1585

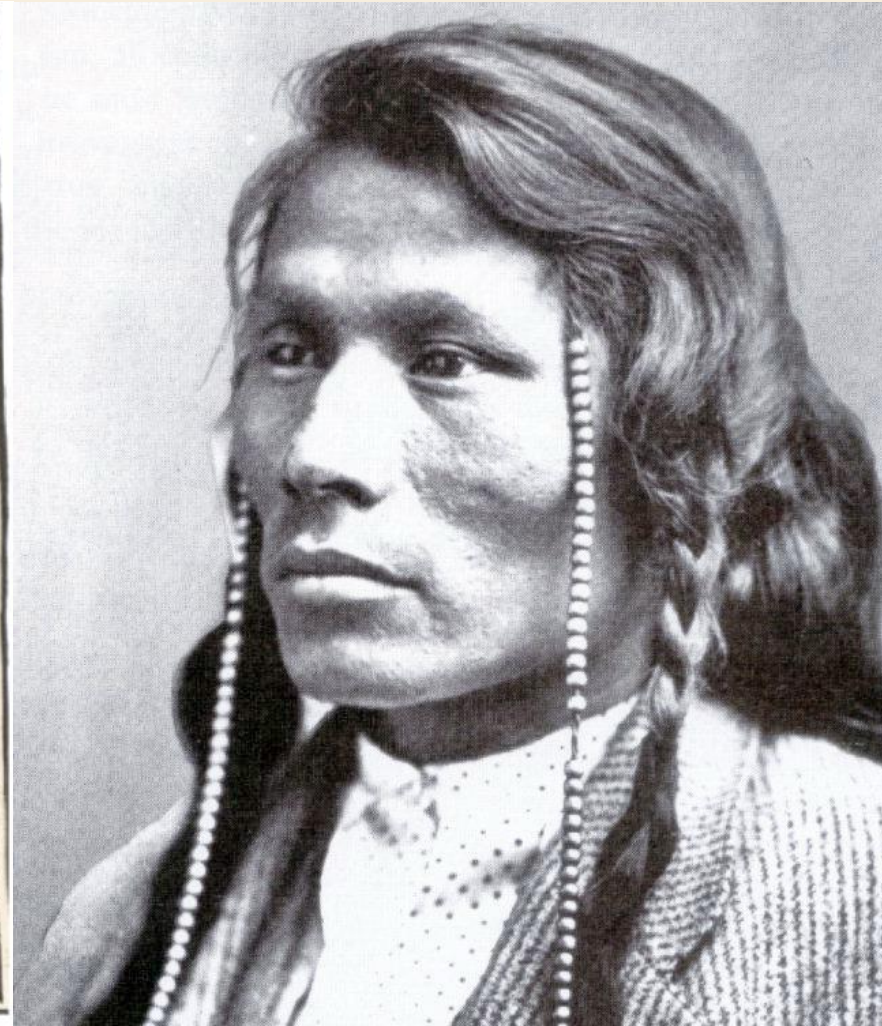


foto: Horse Capture 1991

Reducción catastrófica de la población: desde 100 millones en 1491 hasta 1.6 millones en 1620

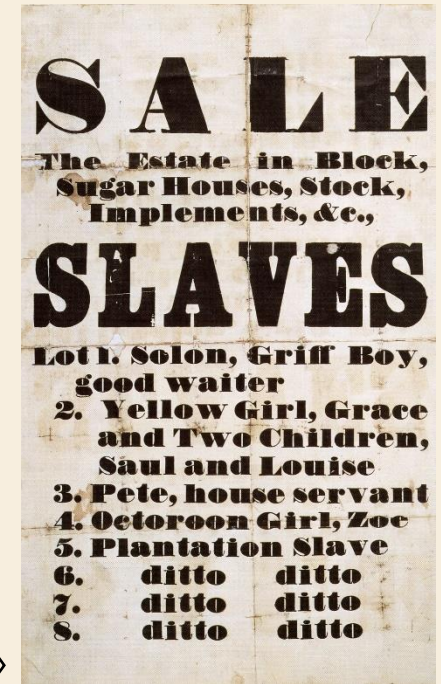
Introducción de la esclavitud y del cultivo de arroz de riego



← diario de navegación
Capitán Samuel Gamble
costa de Guinea-Conakry
en 1793-1794



afiche, Alabama, 1850



- llegada de los primeros esclavos a Hispaniola en 1505 y en Carolina Sur en 1670
- documentación sobre *Oryza glaberrima* en Carolina Sur en 1696 y en Suriname en 1800
- documentación sobre *Oryza glaberrima* en Guyana Francesa en 1938 y en El Salvador en 1959

Migración forzada de la población de África Occidental de 9.5 millones en 1505-1888

Contraste del cultivo del arroz con el cultivo de caña para condiciones de esclavitud

Especies silvestres neotropicales:

O. glumaepatula (AA): desde México hasta Paraguay (un registro en CLB!)

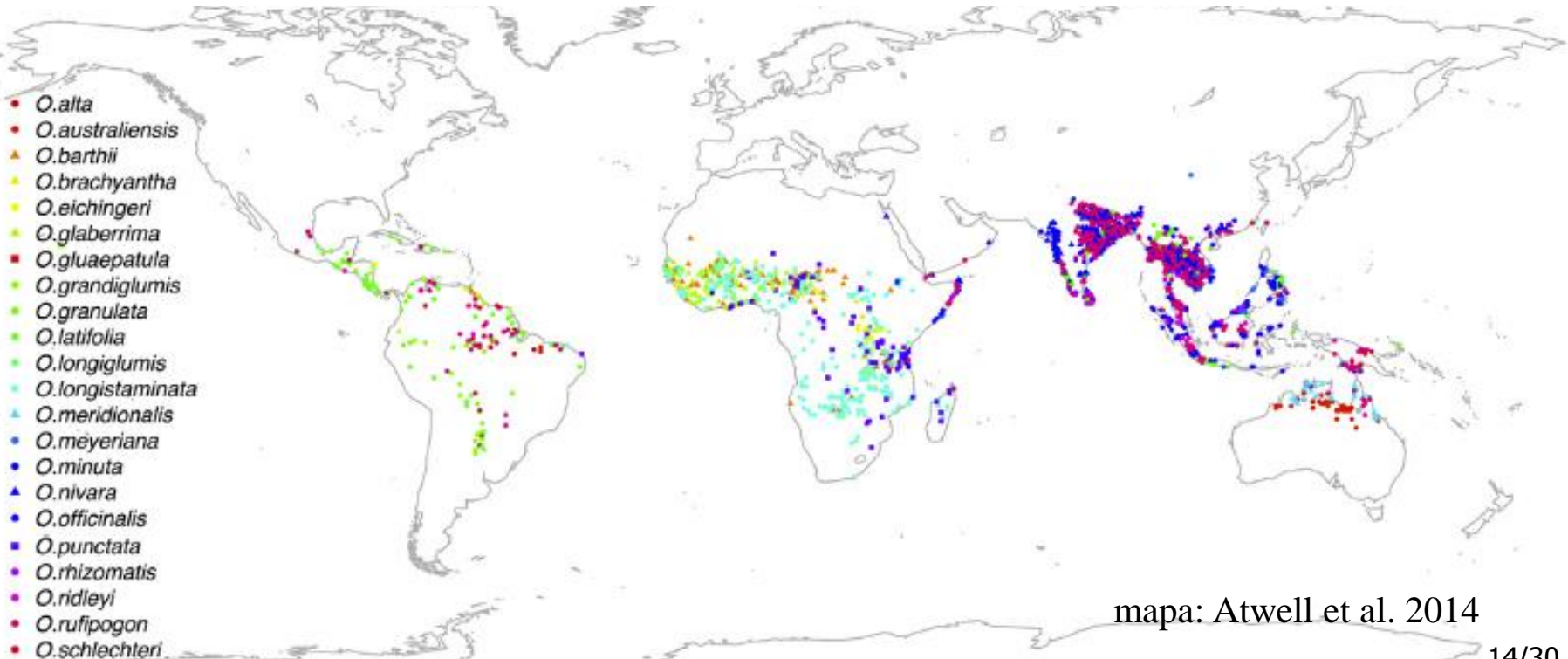
O. alta (CCDD): desde Guatemala hasta Argentina (incl. Colombia)

O. grandiglumis (CCDD): desde Costa Rica hasta Brasil (incl. Colombia)

O. latifolia (CCDD): desde México hasta Argentina (incl. Colombia)

fuentes: Ando et al. 1999; Tateoka 1963; Vaughan & Morishima 2003; Villafañe et al. 2007; Zamora et al. 2003

¿Cómo explicamos su presencia en el Neotrópico si el núcleo original es del Viejo Mundo?



El caso de *O. glumaepatula* Steudel:

¿ Cómo podemos explicar su presencia ?

¿ Es un arroz 'rojo' de *O. sativa* o de *O. glaberrima* desde 1493 a 2018?

- No: por la amplia distribución geográfica y los polimorfismos moleculares: trabajos de Juliano et al. 1998; Quesada et al. 2002; Veasey et al. 2008
- No: Dally & Second (1990): 3 plastotipos de cpDNA únicos en América *vs* 5 en Asia
2 plastotipos de cpDNA únicos en *O. barthii* y uno solo en *O. longistaminata*
cpDNA con evolución lenta; especies AA de Asia de 1-3 mil años de edad
- No: con mtDNA Akimoto et al. (1997) muestra en *O. glumaepatula* dos grupos, uno relacionado con *O. longistaminata*, otro con *O. meridionalis*
- No: con secuenciación genómica Stein et al. (2018) muestran que *O. glumaepatula* se separa de *sativa indica* hace un millón de años; tiene afinidad con *O. barthii*
- No: híbridos entre *O. glumaepatula* (Brasil) y *O. rufipogon* (Asia) mostraron baja fertilidad (Naredo et al. 1998)
- No: este último trabajo reveló la posibilidad de otro diploide en América del Sur

Brasil

Guyana F

Surinam

within *glumaepatula*

F1 spikelet fertility: 88%

Brasil

Cuba

Colombia

Venezuela

between *glumaepatula* and NW diploids

F1 spikelet fertility: 0.3-87%

within New World diploids

F1 spikelet fertility: 0.2-4%

Australia

India

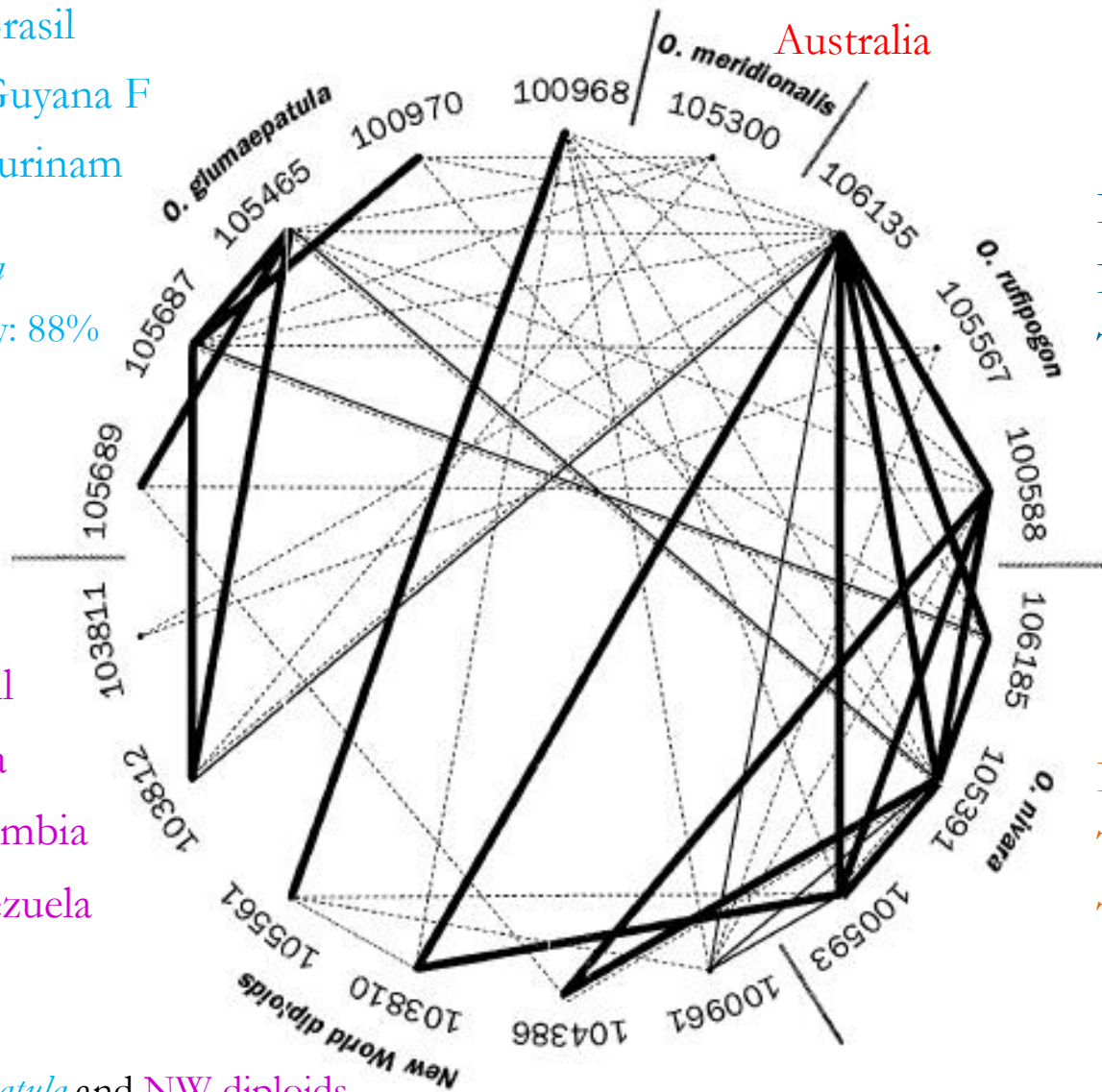
Indonesia

Taiwán

India

Thailandia

Taiwán



fuelle: Naredo et al. 1998

El caso de los tetraploides americanos



Oryza latifolia Desv.

Los géneros de gramíneas de América Austral

E.G. Nicora & Z.E. Rúgolo, 1987

- las 3 especies (*O. alta*, *O. grandiglumis*, *O. latifolia*) con genoma CCDD; el CC está en diploides africanos y asiáticos (*O. officinalis*), el DD aún no encontrado
- distribución aún mal conocida (Centroam. a Argentina)
- especies con diferencias ecológicas:
 - O. alta*: en lagos de agua estable
 - O. grandiglumis*: en ríos de agua corriente, profunda
 - O. latifolia*: en suelos anegados cerca de los bosques
- las diferencias parecen existir a nivel molecular:
 - DNA genómico RFLPs: Aggarwal et al. 1996
 - cpDNA: *latifolia* distinto a los otros dos: Bao & Ge 2004
- origen antiguo y único, y luego especiación ???, u origen reciente por acción humana: Second & Rouhan 2008
- fuente de resistencia a chicharita y bacteriosis (Brar & Khush 1997)

¿*Oryza* americanos (AA y CCDD): otro caso de zoocoria ?

¿Pueden aves haber traído el genoma AA y/o CC desde África?

“Se encuentra en terreno seco . . . siguiendo a los arados en busca de insectos y otros pequeños animales. Oriunda de África, esta especie ha invadido todo el continente americano.”, H Alvarez-López, 1999, p. 30.



Bubulcus ibis
Garza del ganado

“Su lugar de origen es África, de donde llegó a Colombia a fines de la década de 1910, tal vez arrastradas por una tormenta”, C U Hurtado, 2002, p. 223.

“First reported in Colombia in 1917 . . . An invader from the Old World . . .”, Hilty & Brown, 1986, p. 66.

Poco probable, porque aves migratorias no son granívoras, comen volando (insectos); migran desde templado al trópico o Norte-Sur (por estación desfavorable a su comida)

¿*Oryza*: migración por corriente oceánica ?

o ¿material arrastrado por huracán? (cfr Graham 2011, p. 324)

el 'Bermuda bean' es planta endémica de las Islas Bermudas en el W Atlántico es relacionado al frijol Lima de las Antillas llevado por el Gulfstream hace 1-2 mi años

fuentes: Britton 1918; Delgado-Salinas et al. 2006; Pettit et al. 2012



Phaseolus lignosus Britton



Phaseolus mollis Hooker

P. mollis es endémica de las Islas Galápagos es relacionado al frijol Lima de los Andes NW llevado por la corriente Humboldt hace 1-2 mi años igual pasó para *Lycopersicon cheesmanii* igual pasó para *Gossypium darwinii*

fuentes: Rick 1963; Wendel & Percy 1990; Wiggins & Porter 1971

En las Américas hubo domesticación antes de 1493?

Charles Clement (1999, p. 211): “*Leersia hexandra* or *Oryza glumaepatula* may have been important cereal crops, although their placement along the domestication continuum is in doubt”.

Habitat de *Oryza grandiglumis*, Los Chiles, Alajuela, Costa Rica



foto: Debouck 2001

Tres migraciones humanas (antes de 1492)

foto: Cavalli-Sforza et al. 1994

7,000 años a.P.

■ Eskimo-Aleut (más reciente): 10 idiomas (p.ej. Inuit)

■ Na-Dene (2^{da} migración): 32 idiomas (p.ej. Tlingit, Apache, Navajo)

■ Amerind (más antiguo): 583 idiomas; 6 sub-familias

• Almosan-Penutian: 20 idiomas (p.ej. Zuni, Kiché, Totonaco, Maya)

• Central Amerind: 10 idiomas (p.ej. Pima, Nahuatl, Zapoteco)

• Chibcha-Paezan: >100 idiomas (p.ej. Cuna, Paez)

• Andean: 20 idiomas (p.ej. Quechua, Aymara, Mapuche)

• Equatorial-Tucanoan: >150 idiomas (p.ej. Guaraní, Arawak)

• Ge-Pano-Carib: >50 idiomas, muchos extintos (p.ej. Shipibo, Surinam, Cayapo)

10,000 años a.P.

- ninguna ha traído arroz!
- la que desarrolló la agricultura es antes de la domesticación del arroz en Asia
- última se quedó en el NW

15-20,000 años a.P.

Monteverde: 12,500 años a.P.

El aporte de los fitólitos

- diminutos cristales de silicio presentes en tejidos de Gramíneas
- si correctamente escogidos pueden caracterizar géneros y especies
- los cristales encontrados en glumas separan *Oryza sativa* de los silvestres

fuentes: Pearsall 1989, Thomasson 1987, Zhao et al. 1998

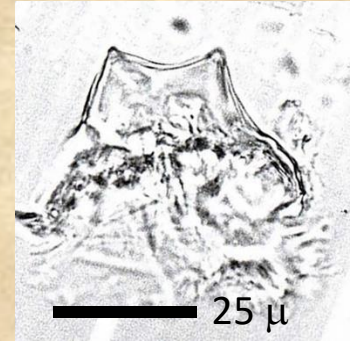


foto: Zhao



hallazgos en Monte Castelo:

- ✓ fitólitos de arroz estudiados: los de las glumas
- ✓ tamaño de fitólitos de arroz aumenta desde 4,000 años a.P.
- ✓ densidad de fitólitos de arroz aumenta en el mismo periodo
- ✓ presencia de fitólitos de maíz en el mismo periodo
- ✓ presencia de carbón: quema de paja después de cosecha?
- ✓ identificación tentativa: *O. glumaepatula*, que crece cerca

fuelle: Hilbert et al. 2017

Algunas conclusiones

- existe arroz 'rojo' en LAC (= maleza), de valor limitado, porque es reciente
- se habrían perdido los *O. glaberrima* introducidos (~ 1510-1860) (salinidad?)
- existe más de 1 especie diploide (= *O. glumaepatula*) con genoma AA (= arroz cultivado) cuyo tiempo de evolución sería de 1,000,000 años (Amazonia > Centroamérica), y cuyo valor como recurso genético es alto, pero hasta hoy poco estudiado
- desde 2005 no se ha vuelto a trabajar con *O. subulata* (sp. muy distante de todas)
- los fitólitos han despejado una sospecha: domesticación pre-Colombina
- se tiene ahora secuenciación (SNPs) para apreciar la diversidad de manera 'neutra' establecer relaciones filogenéticas, y fijar duraciones de evolución
- pero el mayor limitante para progresar es la falta de 'buen' material: hay que coleccionar! en las cuencas antiguas y con acelerado cambio en usos de los suelos (antes de 2025!)
- el número muy reducido de materiales evaluados deja entender que sin embargo hay características útiles en los silvestres de *Oryza* del Neotrópico

Referencias (1)

- Aggarwal, R.K., D.S. Brar, N. Huang & G.S. Khush. 1996. Differentiation within CCDD genome species in the genus *Oryza* as revealed by total genomic hybridization and RFLP analysis. *Rice Genet. Newsl.* 13: 54-57
- Aggarwal, R.K., D.S. Brar & G.S. Khush. 1997. Two new genomes in the *Oryza* complex identified on the basis of molecular divergence analysis using total genomic DNA hybridization. *Mol. Gen. Genet.* 254 (1): 1-12.
- Akimoto, M., Y. Shimamoto & H. Morishima. 1997. Genetic differentiation in *Oryza glumaepatula* and its phylogenetic relationships with other AA genome species. *Rice Genet. Newsl.* 14: 37-38.
- Ando, A., H. Morishima, E.F. Silva, M. Akimoto, E.N. Chaibub & P.S. Martins. 1999. Collecting wild relatives of rice in Paraguay and northeastern Argentina. *FAO/IPGRI Plant Genet. Resources Newsl.* 118: 51-52.
- Atwell, B.J., H. Wang & A.P. Scafaro. 2014. Could abiotic stress tolerance in wild relatives of rice be used to improve *Oryza sativa*? *Plant Science* 215-216: 48-58.
- Bao, Y. & S. Ge. 2004. Origin and phylogeny of *Oryza* species with the CD genome based on multiple-gene sequence data. *Plant Syst. Evol.* 249 (1-2): 55-66.
- Bar-Yosef, O. 2012. From foraging to farming in western and eastern Asia. *in: "Biodiversity in agriculture - Domestication, evolution and sustainability"*, P. Gepts, T.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. 57-91.
- Bennett, D. & R.S. Hoffmann. 1991. Ranching in the New World. *in: "Seeds of change"*, H.J. Viola & C. Margolis (eds.). Smithsonian Institution Press. Washington, D.C., USA. Pp. 90-111.
- Bezançon, G. & G. Second. 1984. Les riz. *in: "Gestion des ressources génétiques des plantes. Tome 1. Monographies"*, J. Pernès (ed.). Agence de Coopération Culturelle et Technique. Paris, France. Pp. 105-156.
- Brar, D.S. & G.S. Kush. 1997. Wide hybridization for rice improvement: alien gene transfer and molecular characterization of introgression. *in: "Interspecific hybridization: progress and prospects"*, M.P. Jones, M. Dingkuhn, D.E. Johnson & S.O. Fagade (eds.). WARDA/ ADRAO. Bouaké, Côte d'Ivoire. Pp. 21-29.
- Carney, J.A. 2001. Black rice: the African origins of rice cultivation in the Americas. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA. 240p.
- Cavalli-Sforza, L.L., P. Menozzi & A. Piazza. 1994. The history and geography of human genes. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA. 1059p.

Referencias (2)

- Cheng, C., R. Motohashi, S. Tsuchimoto, Y. Fukuta, H. Ohtsubo & E. Ohtsubo. 2003. Polyphyletic origin of cultivated rice: based on the interspersed pattern of SINEs. *Mol. Biol. Evol.* 20 (1): 67-75.
- Choi, J.Y., A.E. Platts, D.Q. Fuller, Y.-I. Hsing, R.A. Wing & M.D. Purugganan. 2017. The rice paradox: multiple origins but single domestication in Asian rice. *Mol. Biol. Evol.* 34 (4): 969-979.
- Civán, P., H. Craig, C.J. Cox & T.A. Brown. 2015. Three geographically separate domestications of Asian rice. *Nature Plants* 1: 1-5.
- Clement, C.R. 1999. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. 2. Crop biogeography at contact. *Econ. Bot.* 53 (2): 203-216.
- Dally, A.M. & G. Second. 1990. Chloroplast DNA diversity in wild and cultivated species of rice (Genus *Oryza*, section *Oryza*). Cladistic-mutation and genetic-distance analysis. *Theor. Appl. Genet.* 80 (2): 209-222.
- Davidson, A. 2006. *The Oxford companion to food*. 2nd edition. Oxford University Press. Oxford, England. 907p.
- Fukui, K., R. Shishido & T. Kinoshita. 1997. Identification of the rice D-genome chromosomes by genomic *in situ* hybridization. *Theor. Appl. Genet.* 95 (8): 1239-1245.
- Ge, S., T. Sang, B.-R. Lu & D.-Y. Hong. 1999. Phylogeny of rice genomes with emphasis on origins of allotetraploid species. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96 (25): 14400-14405.
- Graham, A. 2011. *A natural history of the New World: the ecology and evolution of plants in the Americas*. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois, USA. 387p.
- Greenberg, J.H. & M. Ruhlen. 1992. Linguistic origins of native Americans. *Scientific American* 267 (5): 94-99.
- Gross, B.L. & Z. Zhao. 2014. Archaeological and genetic insights into the origins of domesticated rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111 (17): 6190-6197.
- Guo, Y.-L. & S. Ge. 2005. Molecular phylogeny of Oryzeae (Poaceae) based on DNA sequences from chloroplast, mitochondrial, and nuclear genomes. *Amer. J. Bot.* 92 (9): 1548-1558.
- Gutaker, R.M., S.C. Groen, E.S. Bellis, J.Y. Choi, I.S. Pires, R.K. Bocinsky, E.R. Slayton, O. Wilkins, C.C. Castillo, S. Negrao, M.M. Oliveira, D.Q. Fuller, J.A. d'Alpoim Guedes, J.R. Lasky & M.D. Purugganan. 2020. Genomic history and ecology of the geographic spread of rice. *Nature Plants* 6 (5): 492-502.
- Harlan, J.R. & J.M.J. de Wet. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20 (4): 509-517.

Referencias (3)

- Hilbert, L., E. Góes-Neves, F. Pugliese, B.S. Whitney, M. Shock, E. Veasey, C.A. Zimpel & J. Iriarte. 2017. Evidence for mid-Holocene rice domestication in the Americas. *Nature Ecol. Evol.* 1 (11): 1693-1698.
- Hobhouse, H. 1987. *Seeds of change: five plants that transformed mankind*. Harper & Row Publishers, New York, New York, USA. 252p.
- Huang, X., N. Kurata, X. Wei, Z.-X. Wang, A. Wang, Q. Zhao, Y. Zhao, K. Liu, H. Lu, W. Li, Y. Guo, Y. Lu, C. Zhou, D. Fan, Q. Weng, C. Zhu, T. Huang, L. Zhang, Y. Wang, L. Feng, H. Furuumi, T. Kubo, T. Miyabayashi, X. Yuan, Q. Xu, G. Dong, Q. Zhan, C. Li, A. Fujiyama, A. Toyoda, T. Lu, Q. Feng, Q. Qian, J. Li & B. Han. 2012. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice. *Nature* 490 (7421): 497-503.
- Ikeda, R., D.A. Vaughan & N. Kobayashi. 1994. Landraces and wild relatives of rice as sources of useful genes. *JIRCAS International Symposium Series 2*: 104-111.
- Jena, K.K. 2010. The species of the genus *Oryza* and transfer of useful genes from wild species into cultivated rice, *O. sativa*. *Breeding Sci.* 60 (5): 518-523.
- Juliano, A.B., M.E.B. Naredo & M.Y. Jackson. 1998. Taxonomic status of *Oryza glumaepatula* Steud. 1. Comparative morphological studies of New World diploids and Asian AA genome species. *Genet. Resour. & Crop Evol.* 45 (3): 197-203.
- Khush, G.S. 1997. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Molec. Biol.* 35 (1-2): 25-34.
- Khush, G.S. & K.C. Ling. 1974. Inheritance of resistance to grassy stunt virus and its vector in rice. *J. Hered.* 65: 134-136.
- Littlefield, D.C. 1991. *Rice and slaves: ethnicity and the slave trade in colonial South Carolina*. University of Illinois Press. Champaign, Illinois, USA. 199p.
- Lobell, D.B. & S.M. Gourdjji. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiol.* 160 (4): 1686-1697.
- Londo, J.P., Y-C. Chiang, K-H. Hung, T-Y. Chiang & B.A. Schaal. 2006. Phylogeography of Asian wild rice, *Oryza rufipogon*, reveals multiple independent domestications of cultivated rice, *Oryza sativa*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103 (25): 9578-9583.
- McCouch, S.R., K.L. McNally, W. Wang & R. Sackville-Hamilton. 2012. Genomics of gene banks: a case study in rice. *Amer. J. Bot.* 99 (2): 407-423.

Referencias (4)

- McCouch, S.R., M. Sweeney, J. Li, H. Jiang, M. Thomson, E. Septiningsih, J. Edwards, P. Moncada, J. Xiao, A. Garris, T. Tai, C. Martínez, J. Tohme, M. Sugiono, A. McClung, L.P. Yuan & S-N. Ahn. 2007. Through the genetic bottleneck: *O. rufipogon* as a source of trait-enhancing alleles for *O. sativa*. *Euphytica* 154 (3): 317-339.
- McNeill, W.H. 1998. *Plagues and peoples*. Anchor Books. Random House, Inc., New York, New York, USA. 365p.
- Mintz, S.W. 1991. Pleasure, profit, and satiation. *in*: "Seeds of change", H.J. Viola & C. Margolis (eds.). Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. USA. Pp. 112-129.
- Molina, J., M. Sikora, N. Garud, J.M. Flowers, S. Rubinstein, A. Reynolds, P. Huang, S. Jackson, B.A. Schaal, C.D. Bustamante, A.R. Boyko & M.D. Purugganan. 2011. Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108 (20): 8351-8356.
- Naredo, E.B., A.B. Juliano, B-R. Lu & M.T. Jackson. 1998. Taxonomic status of *Oryza glumaepatula* Steud.. 2. Hybridization between New World diploids and AA genome species from Asia and Australia. *Genet. Resources & Crop Evol.* 45 (3): 205-214.
- Nichols, J. 1998. The origin and dispersal of languages: linguistic evidence. *in*: "The origin and diversification of language", N.G. Jablonski & L.C. Aiello (eds.). Mem. Calif. Acad. Sci. 24. San Francisco, California, USA. Pp. 127-170.
- Nishikawa, T., D.A. Vaughan & K-i. Kadowaki. 2005. Phylogenetic analysis of *Oryza* species, based on simple sequence repeats and their flanking nucleotide sequences from the mitochondrial and chloroplast genomes. *Theor. Appl. Genet.* 110 (4): 696-705.
- Parodi, L.R. 1933. Los arrocés de la flora argentina. *Physis* (Buenos Aires) 11: 238-252.
- Patiño, V.M. 1969. *Plantas cultivadas y animales domésticos en América equinoccial*. Tomo 4. Plantas introducidas. Imprenta Departamental, Cali, Colombia. 573p.
- Pearsall, D.M. 1989. *Paleoethnobotany: a handbook of procedures*. Academic Press, Inc. San Diego, California, USA. 470p.
- Portères, R. 1955. Présence ancienne d'une variété cultivée d'*Oryza glaberrima* Steud. en Guyane Française. *J. Agric. Trop. Bot. Appl.* 2 (12): 680.

Referencias (5)

- Portères, R. 1960. Riz subspontanés et riz sauvages en El Salvador (Amérique Centrale). *J. Agric Trop. Bot. Appl.* 7 (9-10): 441-446.
- Plucknett, D.L., N.J.H. Smith, J.T. Williams & N. Murthi-Anishetty. 1987. *Gene banks and the world's food*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 247p.
- Quesada, T., J. Lobo & A.M. Espinoza. 2002. Isozyme diversity and análisis of the mating system of the wild rice *Oryza latifolia* Desv. in Costa Rica. *Genet. Resources & Crop Evol.* 49 (6): 633-643.
- Sauer, J.D. 1993. *Historical geography of crop plants - A select roster*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 309p.
- Second, G. & G. Rouhan. 2008. Human-mediated emergence as a weed and invasive radiation in the wild of the CD genome allotetraploid rice species (*Oryza*, Poaceae) in the Neotropics. *PLoS ONE* 3 (7): 1-13 (e2613).
- Stein, J.C., Y. Yu, D. Copetti, D.J. Zwickl, L. Zhang, Ch. Zhang, K. Chougule, D. Gao, A. Iwata, J.L. Goicoechea, S. Wei, J. Wang, Y. Liao, M. Wang, J. Jacquemin, C. Becker, D. Kudrna, J. Zhang, C.E.M. Londono, X. Song, S. Lee, P. Sanchez, A. Zuccolo, J.S.S. Ammiraju, J. Talag, A. Danowitz, L.F. Rivera, A.R. Gschwend, Ch. Noutsos, Ch-Ch. Wu, Sh-m. Kao, Jh-w. Zeng, Fu-j. Wei, Q. Zhao, Q. Feng, M. El Baidouri, M-Ch. Carpentier, E. Lasserre, R. Cooke, D. da Rosa Farias, L.C. da Maia, R.S. dos Santos, K.G. Nyberg, K.L. McNally, R. Mauleon, N. Alexandrov, J. Schmutz, D. Flowers, Ch. Fan, D. Weigel, K.K. Jena, Th. Wicker, M. Chen, B. Han, R. Henry, Y-i. Hsing, N. Kurata, A. Costa de Oliveira, O. Panaud, S.A. Jackson, C.A. Machado, M.J. Sanderson, M. Long, D. Ware & R.A. Wing. 2018. Genomes of 13 domesticated and wild rice relatives highlight genetic conservation, turnover and innovation across the genus *Oryza*. *Nature Genetics* 50: 285-296.
- Tateoka, T. 1963. Taxonomic studies of *Oryza*. 3. Key to the species and their enumeration. *Bot. Mag. Tokyo* 76: 165-173.
- Thomasson, J.R. 1987. Fossil grasses: 1820-1986 and beyond. *in: "Grass systematics and evolution"*, T.R. Soderstrom, K.W. Hilu, C.S. Campbell & M.E. Barkworth (eds.). Smithsonian Institution. Washington, D.C., USA. Pp. 159-167.
- van Andel, T. 2010. African rice (*Oryza glaberrima* Steud.): lost crop of the enslaved Africans discovered in Suriname. *Econ. Bot.* 64 (1): 1-10.
- Vaughan, D.A. & H. Morishima. 2003. Biosystematics of the genus *Oryza*. *in: "Rice: origin, history, technology and production"*, C. Wayne Smith (ed.). John Wiley & Sons, Inc. New York, New York, USA. Pp. 27-65.

Referencias (6)

- Vaughan, D.A., H. Morishima & K. Kadowaki. 2003. Diversity in the *Oryza* genus. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 139-146.
- Vaughan, D.A. & L.A. Sitch. 1991. Gene flow for the jungle to farmers. *Bioscience* 41 (1): 22-29.
- Veasey, E.A., D. Cardin, R. Meireles-Silva, E. de Andrade-Bressan & R. Vencovsky. 2008. Assessing the genetic structure of *Oryza glumaepatula* populations with isozyme markers. *Braz. Archiv. Biol. Technol.* 51 (5) : 873-882.
- Villafane-Palau, C., A. Estrada-O., Z. Lentini, L.F. Fory & J.D. Palacio. 2007. Diagnóstico y fortalecimiento de la línea base del conocimiento del género *Oryza* (arroz) en Colombia, un aporte para la toma de decisiones en el ámbito de bioseguridad. Tomo 1. Instituto von Humboldt. Bogotá, Colombia. Pp. 33-49.
- Vitte, C., T. Ishii, F. Lamy, D. Brar & O. Panaud. 2004. Genomic paleontology provides evidence for two distinct origins of Asian rice. *Mol. Gen. Genomics* 272 (5): 504-511.
- Wang, M., Y. Yu, G. Haberer, P.R. Marri, C. Fan, J.L. Goicoechea, A. Zuccolo, X. Song, D. Kudrna, J.S.S. Ammiraju, R.M. Cossu, C. Maldonado, J. Chen, S. Lee, N. Sisneros, K. de Baynast, W. Golser, M. Wissotski, W. Kim, P. Sanchez, M.-N. Ndjiondjop, K. Sanni, M. Long, J. Carney, O. Panaud, T. Wicker, C.A. Machado, M. Chen, K.F.X. Mayer, S. Rounsley & R.A. Wing. 2014. The genome sequence of African rice (*Oryza glaberrima*) and evidence for independent domestication. *Nature Genetics* 46 (9): 982-991.
- Wells, S. 2003. *The journey of man: a genetic odyssey*. Random House, Inc. New York, New York, USA. 218p.
- Xiao, J., J. Li, S. Grandillo, S.N. Ahn, L. Yuan, S.D. Tanksley & S.R. McCouch. 1998. Identification of trait-improving quantitative trait loci alleles from a wild rice relative, *Oryza rufipogon*. *Genetics* 150 (2): 899-909.
- Young-Choi, J., A.E. Platts, D.Q. Fuller, Y.-I. Hsing, R.A. Wing & M.D. Purugganan. 2017. The rice paradox: multiple origins but single domestication in Asian rice. *Mol. Biol. Evol.* 34 (4): 969-979.
- Zamora, A., C. Barboza, J. Lobo & A.M. Espinoza. 2003. Diversity of native rice (*Oryza*, Poaceae) species of Costa Rica. *Genet. Resour. & Crop Evol.* 50 (8): 855-870.
- Zhao, Z., D.M. Pearsall, R.A. Benfer Jr. & D.R. Piperno. 1998. Distinguishing rice (*Oryza sativa* Poaceae) from wild *Oryza* species through phytolith analysis, II: finalized method. *Econ. Bot.* 52 (2): 134-145.



Muchas Gracias

información adicional: d.debouck@cgiar.org