

8. Maíz

Amando Ordás

Misión Biológica de Galicia (CSIC), Apartado 28, 36080 Pontevedra
aordas@mbg.csic.es

8.1. Introducción

8.2. Origen del maíz

8.3. Germoplasma

8.3.1. Razas de América

8.3.2. El maíz del Corn Belt

8.3.3. El germoplasma español

8.3.4. Las variedades españolas

8.4. Uso de las variedades locales

8.4.1. Programas de selección recurrente

8.4.2. Obtención de híbridos

8.5. El futuro de las variedades locales

8.6. Agradecimientos

8.7. Referencias

8.1. Introducción

Según los últimos datos publicados por la FAO (2014) el maíz fue en términos de producción en 2014 la segunda mercancía agrícola mundial, por detrás solo de la caña de azúcar y precediendo al arroz (con cáscara), al trigo y a las patatas. La superficie ocupada por el maíz sigue en el conjunto del planeta una línea ascendente. Así, por ejemplo, se ha pasado en los cinco últimos años de 159,5 millones de hectáreas en 2009 a 185,1 millones en 2013, a las que hay que añadir algo más de un millón de hectáreas dedicadas a maíz forrajero y otras superficies ocupadas por maíz dulce y maíz de palomitas, aunque de estos dos últimos cultivos no hay datos.

En 2013 el maíz grano ocupó en España una superficie de 442.298 ha, con una producción de 4.888.462 t (MAGRAMA, 2015), si bien estas cifras son, con toda seguridad, inferiores a las reales ya que es muy difícil, si no imposible, cuantificar las hectáreas que se dedican a este cultivo en los minifundios de Galicia y la cornisa cantábrica. Un hecho destacable es el aumento de superficie observado en los últimos años, con un aumento de superficie de más de 100.000 ha desde 2010 (en ese año se sembraron 315.000 ha). La comunidad que más superficie dedicó al maíz grano en 2013 fue Castilla y León (121.965 ha), seguida de Aragón (76.770 ha) y Extremadura (69.136 ha). Las provincias con más superficie fueron León (65.263 ha), Huesca (48.840 ha) y Badajoz (47.113). En conjunto, España tiene un acusado déficit de este cereal ya que precisa importar mucho más grano del que produce. De maíz forrajero se cosecharon 107.086 ha en 2013. Casi dos terceras partes de esa superficie correspondieron a Galicia (MAGRAMA, 2015). Hay también una pequeña superficie dedicada al cultivo asociado de judía y maíz (1.451 ha en 2013), y al maíz dulce y de palomitas, pero de estos dos últimos tipos no hay datos. En resumen, el maíz ocupa oficialmente en nuestro país unas 550.000 ha, aunque, como anteriormente se explicó, la superficie real debe ser sensiblemente superior.

El grano de maíz es un fruto en cariósipide, que incluye el embrión, el endospermo, la aleurona y el pericarpio. Se encuentra también un resto del pedicelo, por el que el grano estaba unido al zuro. El color del grano, factor importante a la hora de clasificar variedades ya que ha sido un carácter que el agricultor suele tener en cuenta al realizar la selección de semilla, es el resultado de la interacción entre pericarpio, aleurona y endospermo.

El pericarpio es la envoltura externa de la semilla y, como tejido materno que es, no tiene contribución genética del polen. En otras palabras, tiene un genotipo idéntico al de la planta sobre la que se asienta la mazorca. La aleurona, capa exterior del endospermo, está formada normalmente por una capa única de células, al contrario que en la mayoría de los cereales. Es, al igual que el endospermo, triploide. El endospermo, tejido triploide que procede de la unión del núcleo secundario del saco embrional (2x) con uno de los núcleos espermáticos

(x) del grano de polen, constituye la mayor parte del grano, generalmente el 80–85% de su peso. Sus células están rellenas de granos de almidón, lo que hace que el maíz se considere ante todo un alimento energético.

Desde el punto de vista de su apariencia física el almidón se presenta bajo dos consistencias distintas: almidón duro y almidón blando. La distinta proporción de uno y otro, así como su disposición en el grano, causa la aparición de distintos tipos de maíz: de palomitas (reventador), liso (duro, cristalino), dentado y harinoso. El maíz que se cultiva habitualmente para la obtención de harinas para piensos animales (su uso más común en los países desarrollados de las zonas templadas) es el dentado, seguido del liso o tipos intermedios (semidentados) en zonas de clima más frío. Para alimentación humana, especialmente en Iberoamérica, el harinoso es el tipo predominante.

8.2. Origen del maíz

No cabe duda de que el maíz es una especie misteriosa debido a que es una de las plantas más estudiadas de nuestro planeta y, sin embargo, aún no conocemos su origen con total certidumbre. En lo que sí están de acuerdo todos los expertos es que el maíz es una planta americana. Cuando Colón llegó al Nuevo Mundo, el maíz se cultivaba desde Gaspé (Canadá) hasta Chile (Wilkes, 2004).

A lo largo del siglo XX hubo una gran cantidad de controversia acerca del origen del maíz. En todos los casos el maíz se consideraba relacionado estrechamente con el teosinte, una especie silvestre que crece de forma natural en México y Guatemala y de aspecto tan diferente al del maíz que los primeros taxonomistas le adjudicaron un género distinto: *Euchlaena mexicana*. Hoy se considera que todos los tipos de teosinte pertenecen al género *Zea*.

La teoría más aceptada actualmente indica que el maíz cultivado hoy, que es esencialmente el mismo que los españoles se encontraron al llegar a América en 1492, desciende del teosinte Balsas (Bennetzen et al., 2001; citado por Wilkes, 2004), planta silvestre en los estados de Guerrero y Michoacán (centro sur de México), y fue domesticado hace, aproximadamente, unos 9.000 años. Hay distintos teosintes, anuales y perennes, diploides y tetraploides, todos pertenecientes al género *Zea*. Los teosintes y el maíz se clasifican en cuatro especies y siete taxones (Iltis y Doebley, 1980; Doebley 1990) (Tabla 1).

Tabla 1. Taxonomía del género *Zea*.

Sección *Luxuriantes*

Zea diploperennis Iltis, Doebley y Guzmán: teosinte perenne diploide

Zea perennis (Hitchcock) Reeves y Mangelsdorf: teosinte perenne tetraploide

Zea luxurians (Durieu y Ascherson) Bird: teosinte Guatemala

Sección *Zea*

Zea mays L.

subsp. *mexicana* (Schader) Iltis: teosintes Chalco, Meseta Central y Nobogame

subsp. *parviglumis* Iltis y Doebley: teosinte Balsas

subsp. *huehuetenangensis* Doebley: teosinte Huehuetenango

subsp. *mays* Iltis y Doebley: maíz

8.3. Germoplasma

La primera clasificación de la variabilidad existente en el maíz fue hecha a finales del siglo pasado por Sturtevant (1899), quien dividió los tipos existentes en seis grupos: dentado, liso (o duro), harinoso, de palomitas, dulce y tunicado. Esta clasificación, salvo en el caso del maíz tunicado, se basa en la composición del endospermo. En muchos casos las diferencias son simplemente monogénicas, como, por ejemplo, el carácter dulce (*su1*) frente a almidonoso (*Su1*) que depende de un gen situado en el cromosoma 4, o el carácter tunicado, también monogénico y localizado igualmente en el cromosoma 4 (*Tu1*). Pero otras diferencias, tales como las existentes entre el maíz de palomitas y el liso, son poligénicas. En cualquier caso, y prescindiendo del maíz tunicado, representan los principales tipos de maíz cultivado en el mundo y los que ya se encontraron los españoles al llegar a América.

Los maíces de palomitas son básicamente un tipo liso de grano pequeño. Se considera generalmente que forman las razas más primitivas del maíz actual. Sus granos tienen la propiedad de reventar al aplicárseles calor, dando lugar a las típicas palomitas o rosetas.

Los granos de maíz liso tienen fundamentalmente endospermo duro y poseen la ventaja de un fácil almacenamiento y germinación en condiciones difíciles.

El maíz dentado es un tipo intermedio entre el liso y el harinoso, variando el grado de dentición con el fondo genético. Los lados de los granos dentados son lisos, mientras que el núcleo central es harinoso. Debido a que el núcleo blando se contrae más durante el secado que los lados duros, el grano maduro adquiere el característico aspecto dentado.

Los granos de maíz harinoso tienen únicamente almidón blando. Al secar presentan la ventaja de una molienda muy fácil, incluso en el caso de que se haga a mano. Tienen, en cambio, el grave inconveniente de la facilidad para la aparición de mohos sobre la mazorca que pueden llegar a arruinar la cosecha. Por ello su uso está limitado a áreas con un clima muy seco en la época de la recolección.

En el maíz dulce el gen *su1* previene o retarda la conversión del azúcar en almidón durante la formación del endospermo. Como consecuencia de ello, los granos dulces al secar presentan una típica apariencia arrugada y cristalina.

El maíz tunicado tiene la peculiaridad de que cada grano está envuelto por unas largas glumas, de modo similar a lo que ocurre en otras gramíneas.

Andersson y Cutler (1942) apuntaron lo artificioso del sistema de Sturtevant y propusieron que las clasificaciones raciales debían basarse en las relaciones naturales. Estos autores definieron una raza como un grupo de individuos relacionados con suficientes características en común que permiten reconocerlos como un grupo. Genéticamente una raza es un grupo de individuos con un número significativo de genes en común. Las razas principales tienen en común menor número de genes que las subrazas. Si bien se ha avanzado bastante en el conocimiento de las razas del maíz, aún no se conoce qué caracteres son necesarios para establecer las semejanzas y las diferencias entre ellas. En los últimos años ha surgido un creciente interés por aplicar marcadores moleculares, tanto isoenzimáticos como bioquímicos, para el estudio de la variabilidad genética existente en las colecciones. Se han empleado numerosos marcadores (isoenzimas, RAPD, RFLP...), pero, posiblemente, los más utilizados en los últimos años han sido los microsatélites y los SNP.

8.3.1. Razas de América

Dado que el maíz proviene de América, es conveniente conocer las variedades americanas ya que allí se encuentran todos los genes de la especie. Hay que tener en cuenta la dificultad de trabajar en la Península con maíz procedente de México, Centroamérica o los países bolivarianos (área en la que se encuentra la mayor variabilidad de la especie) debido a la sensibilidad del maíz al fotoperiodo ya que las variedades de esa zona son de día corto.

La clasificación en razas del maíz del continente americano comenzó con los trabajos de Wellhausen y sus colaboradores, que en 1951 publicaron los resultados de un extenso estudio sobre una amplia colección de maíz mexicano. Dicha publicación (Razas de maíz en México) preparó el camino para una serie de estudios raciales que tuvieron lugar en los doce años siguientes y que abarcaron la totalidad prácticamente del maíz americano, produciendo una serie de boletines que fueron seguidos o acompañados por estudios similares sobre el germoplasma europeo y asiático (Goodman y Brown, 1988).

Las clasificaciones del maíz americano, publicadas en los boletines mencionados, fueron consideradas por muchos de los autores como preliminares y como punto de partida para estudios más definitivos que, lógicamente, seguirían. Hasta ahora esto ha ocurrido hasta cierto punto, principalmente por los trabajos de Goodman y sus colaboradores que, aplicando métodos de taxonomía numérica, han determinado con mayor precisión las relaciones

entre las razas previamente descritas (Goodman, 1967, 1968; Goodman y Paterniani, 1969; Goodman y Bird, 1977; Bird y Goodman, 1977; Goodman y Brown, 1988; Sánchez y Goodman, 1992; Sánchez et al., 1993).

En lugar de delimitar grupos raciales, complejos o «súper razas», Mangelsdorf (1974), en un intento de estudiar la variabilidad encontrada en las razas de Iberoamérica, estableció lo que él llamó seis «linajes». Cada linaje significa un grupo de razas que descienden de un antecesor común. De norte a sur las razas ancestrales de estos linajes son:

1. Palomero Toluqueño, el maíz mexicano de palomitas, de semillas puntiagudas.
2. El complejo Chapalote-Nal-Tel de México.
3. Pira Naranja de Colombia, el progenitor del maíz liso tropical con endospermo de color anaranjado.
4. Confite Morocho de Perú, el progenitor del maíz de ocho filas.
5. Chullpi de Perú, el progenitor de todo el maíz dulce y las formas almidonosas relacionadas con mazorcas globulares.
6. Kulli, el maíz peruano coloreado, progenitor de todas las razas con complejos de colores de pericarpio y aleurona.

Hasta el presente, la clasificación más completa de las efectuadas sobre el germoplasma americano es la de Goodman y Brown (1988). Estos autores describen la mayoría de las razas encontradas en el continente americano, así como las probables relaciones entre ellas.

8.3.2. El maíz del Corn Belt

El maíz del Corn Belt, con una gran importancia en la mejora ya que es la raza más productiva del mundo en las zonas templadas, se originó hace relativamente poco tiempo y por una feliz casualidad. A mediados del siglo XIX Robert Reid, procedente del Sur de Ohio, se instaló en la parte central de Illinois trayéndose con él, como era común, su semilla de maíz (una variedad de la raza Southern Dent). En 1846 la semilla maduró mal y, como consecuencia de ello, en 1847 la nascencia fue muy pobre. Robert Reid sembró los fallos con una variedad local (perteneciente a la raza Northern Flint) mucho más precoz. Afortunadamente, por esta siembra tardía de la variedad precoz, ambas variedades florecieron a la vez y se produjo un híbrido intervarietal. James, hijo de Robert Reid, seleccionó durante muchos años este material y, finalmente, obtuvo la famosa variedad 'Reid Yellow Dent'. De ella proceden muchas de las líneas que forman parte de los híbridos más cultivados en el mundo en la actualidad. Otras importantes variedades del Corn Belt son 'Lancaster Surecrop', 'Iodent', 'Minnesota No. 13', etc.

La historia del maíz del Corn Belt, así como su significación en la mejora, ha sido estudiada por diversos autores (Crabb, 1947; Andersson y Brown, 1952; Wallace y Brown, 1956;

Hayes, 1963; Troyer, 1999, 2001, 2004, 2007; Troyer y Mikel, 2010; Troyer y Palmer, 2006). Actualmente, en las zonas templadas del planeta prácticamente todos los híbridos cultivados tienen germoplasma de esta raza.

8.3.3. El germoplasma español

Hay diversos estudios sobre la introducción del maíz en Europa (Tenailon y Charcosset, 2011; Rebourg et al., 2003; Revilla et al., 1998, 2003), que arrojan luz sobre el camino que siguió la especie para establecerse en Europa, si bien aún queda mucho por confirmar. Lo que está comúnmente aceptado es que la primera siembra en el Viejo Mundo tuvo lugar en España en 1493 con maíz caribeño traído por Colón. A partir de ahí, ha habido numerosas introducciones desde distintas partes de América.

La Misión Biológica de Galicia (MBG), creada en 1921 en Santiago de Compostela y afincada desde 1927 en Pontevedra, comenzó la recogida de variedades locales españolas a comienzos de los años veinte del siglo pasado (Ordás, 1993). En aquellos tiempos no existía una especial preocupación por la conservación del germoplasma y por ello, las variedades que no proporcionaban buenas líneas puras para la obtención de híbridos eran desechadas. Un primer resumen de sus trabajos lo tenemos en una publicación de 1930 (De la Sota et al., 1930), que recoge la labor realizada durante nueve años: de 1921 a 1929, en los que se autofecundaron 174 variedades distintas de maíz: 153 procedentes de Galicia, 4 de Francia, 14 de Estados Unidos y 3 de Italia. Al final de la campaña de 1929, de dichas variedades solo quedaban 8 amarillas, 4 blancas y 160 líneas puras de ellas derivadas. De las 153 variedades recogidas en Galicia, sólo se conservaban líneas de siete de ellas, si bien alguna, como la variedad 'H' (una de cuyas líneas aún se conserva) con toda seguridad no es una población "del país", antes bien parece una variedad de la raza Northern Flint.

Dos híbridos dobles desarrollados por la MBG tuvieron bastante difusión en aquellos primeros años:

Pepita de Oro:

(Henderson's Longfellow × Gold Nugget) × (Salzer's Longfellow × Var. H)

Reina Blanca:

(Sanford White × Arcade) × (Henderson's Large White × Var. H bl.)

Los nombres de las variedades se refieren a líneas puras extraídas de ellas directamente, es decir a lo que llamamos *líneas de primer ciclo*. De todas las variedades involucradas en

esos híbridos, solo 'Arcade' es una variedad autóctona española originaria de la provincia de Pontevedra. Posteriormente, en 1950, último año en el que se trabajó con un programa de mejora de variedades locales en la MBG, el número de variedades era de 53 y el de líneas puras (en un nivel de consanguinidad más o menos avanzado) de 379 (Tabla 2).

Una de las variedades tiene una importancia especial: la número 25 (Lizargárate) ya que de ella se obtuvo la EP1, una de las líneas puras europeas más famosas. Uno de los híbridos dobles franceses obtenidos por el INRA, y que fue el que abrió el camino en Europa para la expansión de los híbridos en detrimento de las variedades locales, fue el INRA-258, cuya fórmula es (F115 × W33) (EP1 × F7). De toda esta colección en la actualidad se conservan líneas puras de las variedades 'Marshall's Longfellow', 'Maíz alto de León', 'Variedad H', 'Lizargárate' y 'Northern White', y ninguna de las variedades locales gallegas.

En 1932 se creó el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas (INIA). Una de las dependencias del INIA fue el Centro de Mejora del Maíz (CMM), radicado en la Granja de Meco (Alcalá de Henares, Madrid). En este centro se llevó a cabo la primera clasificación en razas del germoplasma español (Sánchez-Monge, 1962). En el CMM existían 90 variedades españolas, a las que se añadieron muestras conseguidas por el Servicio de Extensión Agraria, las jefaturas agronómicas provinciales, etc., hasta formar una colección de 372 variedades (357 de maíz grano y 15 de maíz de palomitas) que fueron sembradas en 1959 y 1960 en la finca del CMM. En este trabajo se excluyeron los maíces canarios por los problemas de adaptación al fotoperiodo.

De cada variedad se sembró una parcela de 60 plantas y se tomó un conjunto de caracteres fenotípicos. La media anual de cada carácter se tomó, salvo excepciones, sobre las primeras 10 plantas normales de cada parcela. Con estos datos se hizo una clasificación en 20 razas (17 de maíz grano y 3 de maíz de palomitas) y 32 formas intermedias (31 de maíz grano y 1 de maíz de palomitas). Como es obvio, dada la época en que se realizó el trabajo, no se usaron datos moleculares.

Debido a diversas vicisitudes la colección estuvo a punto de perderse, pero antes de que esto ocurriera, la mayoría de esta valiosa colección (cinco razas estaban perdidas) ha podido ser recuperada y se encuentra conservada en la MBG, en donde se ha investigado la relación entre ellas por medio de su variación en isozimas (Revilla et al., 1998).

Tabla 2. Variedades de maíz conservadas en la Misión Biológica de Galicia en 1950 y número de líneas de cada una de ellas.

Tipo de maíz	Variedad	Nombre	Nº de líneas
Amarillo liso	25	Lizárgarate	8
“ “	90	La Creu	8
“ “	91	Margrau	5
“ “	23	Elgueta	10
“ “	Ch	Chantada	2
“ “	24	Azcoitia	16
“ “	92	Sabater	4
“ “	16925		6
“ “	104	Manalta	2
“ “	170	Extra Early (Henderson)	6
“ “	36	Extra Early (Henderson)	5
“ “	42	Mammoth (Harris)	8
“ “	47	Canada Flint	10
“ “	39	Golden Nugget	10
“ “	H-3		3
“ “	40	Longfellow (Marshall)	21
“ “	175	Longfellow (Salzer)	2
“ “	97	Golden Nugget	2
“ “	3325		4
Amarillo dentado	93	Rojo vinoso	3
“ “	62	Maíz alto de León	4
“ “	33	Early Golden Orange Dent	16
“ “	69	Carpmsmeyer Silo	10
“ “	70	Wisconsin 25	5
“ “	72	Minnesota No. 13	5
“ “	75	Colorado 13	9
“ “	74	Jacques 110 days	3
“ “	76	X	11
“ “	94	Astur	4
“ “	77	Jacques 100 days	8
“ “	78	Jacques 90 days	4
“ “	79	Wisconsin 8	15
“ “	85	Golden King	15
“ “	86	Jacques 105 days	15

“ “	88	Lancaster Surecrop	6
“ “	99	Cáceres	4
“ “	105	Barreiros	2
Blanco liso	100 bl.		4
“ “	42 bl.		5
“ “	179	Sanford White	12
“ “	222	Semillas bl. de espigas am. largas	11
“ “	38	White Flint	25
“ “	39 bl.		2
Blanco dentado	65	Rustler	11
“ “	95	Pioneer	4
“ “	62 bl.		3
“ “	33 bl.		1
“ “	70 bl.		2
“ “	79 bl.		1
“ “	85 bl		4
“ “	35	Wood's Northern White Dent	13
“ “	45	Burr White	2
“ “	98	Ribeiro blanco	8
Totales	53		379

A partir de los años setenta del siglo pasado se han llevado a cabo numerosas recogidas por toda España (Alvarez y Lasa, 1987a, 1987b, 1990a, 1990b; Llauradó y Moreno González, 1993; Llauradó et al., 1993; Ordás et al., 1987, 1994; Ruiz de Galarreta y Alvarez, 1990). Como consecuencia de todo ello se dispone de una amplísima representación de las anti-guas variedades de polinización libre. El problema que existe es que hay demasiadas muestras conservadas en los distintos centros que han realizado recolecciones: Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM) (Xunta de Galicia), Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife (CCBAT) (Cabildo de Tenerife), Neiker-Tecnalia en Arkaute-Álava (NEIKER) (Gobierno Vasco) y Estación Experimental de Aula Dei en Zaragoza (EEAD) y MBG, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Los tres centros citados en último lugar en el párrafo anterior han comenzado un proceso de racionalización de su germoplasma. Por ello se acometió la puesta en común de las tres colecciones para racionalizar la enorme cantidad de variedades existentes entre los tres centros: nada menos que 988. El primer paso consistió en la realización de un inventario común para detectar duplicaciones y se ha propuesto un formato similar de código para los

tres centros. Esta ordenación del material ha permitido detectar algunas duplicaciones y, sobre todo, comprobar lo irracional de la situación actual. Como ejemplo, baste decir que de la provincia de Guipúzcoa hay 393 variedades sin contar las muestras guipuzcoanas incluidas en las razas. En esta provincia hay 5.330 ha de tierra cultivable, de las que se dedican a maíz (grano y forrajero) 342 ha según el Anuario de Estadística 2014 (MAGRAMA, 2015). Esto nos da 1,15 variedades por hectárea, algo completamente absurdo. Suponiendo que en el pasado, cuando las variedades de polinización libre eran lo habitual, se cultivara cuatro o cinco veces más maíz, siguen saliendo unas cifras absurdas. Hace unos años, en el marco de un programa de la Unión Europea (en el que participaron por parte española el CIAM, la EEAD y la MBG), se procedió a la creación de una colección nuclear europea de maíz, que comprendía a los países que en aquel momento constituían la Unión Europea y que disponían de colecciones, es decir Alemania, España, Francia, Grecia, Italia y Portugal (Gouesnard et al., 2005). Hecho el inventario del germoplasma existente, se constató la existencia de 2.899 variedades conservadas (y documentadas entonces) en los bancos de germoplasma de esos países. En un primer paso se formó una colección representativa de 395 variedades y, a partir de ella y empleando datos fenotípicos y moleculares, se constituyó una colección nuclear de 96 variedades, en la que figuran 24 variedades españolas: 6 de la EEAD, 10 de la MBG y 8 del CIAM (Tabla 3). Esta primera colección puede servir de base para una futura colección nuclear española más grande, quizás con 50 o 60 variedades, que debe ser suficiente para representar adecuadamente la variabilidad existente en el germoplasma español de maíz.

Tabla 3. Variedades españolas de maíz que forman parte de la colección nuclear europea.

Centro ¹	Nombre	Lugar	Provincia	Región
EEAD		Hazas de Sobas	Santander	Cantabria
EEAD		Arredondo	Santander	Cantabria
EEAD		Trascastro	Oviedo	Asturias
EEAD		Villanueva del Arz.	Jaén	Andalucía
EEAD		Guetaria	Guipúzcoa	País Vasco
EEAD		Lazkano	Guipúzcoa	País Vasco
MBG	E.levantino x Hembrilla ²	N/A	N/A	Levante
MBG	Rastrojero ²	N/A	N/A	Aragón, Levante
MBG	Tremesino ²	N/A	N/A	Andalucía
MBG	Norteño largo ²	N/A	N/A	Norte
MBG	Tuy	Tuy	Pontevedra	Galicia
MBG	Viana	Viana	Ourense	Galicia
MBG	Sajambre	Sajambre	León	León

MBG	Basto x Blanco ^{2,3}	Carmona	Sevilla	Andalucía
MBG	Blanco ²	N/A	N/A	Levante
MBG	Fino x Tremesino ^{2,3}	Torrox	Málaga	Andalucía
CIAM		Aranga, Cima	A Coruña	Galicia
CIAM		Teo, Cacheiras	A Coruña	Galicia
CIAM		Carnota, Lira	A Coruña	Galicia
CIAM		Ataún	Guipúzcoa	País Vasco
CIAM		Gamiz-Fika	Vizcaya	País Vasco
CIAM		Gernika	Vizcaya	País Vasco
CIAM		Ponteareas, Lagarín	Pontevedra	Galicia
CIAM		Forcarei, Acibeiro	Pontevedra	Galicia

1: EEAD: Estación Experimental de Aula Dei; MBG: Misión Biológica de Galicia; CIAM: Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo.

2: Raza española (Sánchez-Monge, 1962).

3: Raza monovarietal.

8.3.4. Las variedades españolas

A finales de los años 80 del siglo pasado se llevaron a cabo en la MBG dos estudios de las variedades españolas (Ordás et al, 1994). Uno de los estudios se centró en las variedades gallegas y en el otro se incluyeron, además, variedades locales de la Península y Baleares, excluyendo las poblaciones canarias por el problema de adaptación al fotoperiodo. La razón de haber dedicado un estudio exclusivamente a las variedades gallegas se debe a que esta región es históricamente la más importante para el cultivo del maíz antes de la difusión del cultivo de los híbridos y la mecanización del cultivo, aspecto este último muy difícil de introducir en la mayoría de explotaciones gallegas por su minifundismo. Aparte de eso, el maíz gallego está adaptado al cultivo sin riego, lo que no ocurre con el resto de las regiones españolas, salvo en la cornisa cantábrica. En Galicia, el maíz se introdujo por los puertos de las Rías Bajas a partir de 1630 (Pérez García, 1981). Como resultado de estos trabajos se deduce lo siguiente:

En la Península y Baleares no se han encontrado variedades dulces ni harinosas. El maíz peninsular se puede dividir en dos grandes grupos: maíz de secano, propio de las zonas húmedas (Galicia y cornisa cantábrica), y maíz de regadío, propio del resto de la Península, siendo las principales zonas maiceras el Valle del Ebro, Levante, los regadíos del Tajo y Andalucía. El maíz balear es similar al peninsular. Hay que tener en cuenta que el maíz se cultiva en todas las provincias españolas, peninsulares e insulares. Por ello las variedades locales que se cultivaban (y que aún se siguen cultivando, aunque en pequeña proporción, en algunas zonas) son muy diversas. Sin embargo, hay unos tipos de maíz más extendidos que, a continuación, se resumen.

En Galicia había tres tipos fundamentales de maíz (Figura 1). En la costa, el maíz se convirtió en el cereal panificable, por su capacidad de producir pan que los marineros podían llevar en los barcos sin perder sus cualidades durante bastante tiempo. Por ello, las variedades de la costa gallega son blancas ya que los carotenos presentes en el maíz amarillo dan un sabor desagradable al panificar. En la penillanura que comprende la mayoría de las provincias de Pontevedra y A Coruña se cultivaba centeno para hacer el pan. El maíz era fundamentalmente pienso para el ganado y en este caso las variedades amarillas son ventajosas. En las tierras altas del interior, fundamentalmente en Lugo y Ourense, el ciclo vegetativo es más corto, por lo que las variedades tienen que ser más precoces. Además, los otoños son más secos que en las provincias atlánticas por lo que el zuro puede ser más grueso y así soportar más filas de grano. Este esquema general tiene numerosas excepciones ya que es frecuente encontrar variedades de otros tipos, por ejemplo multicolores, en zonas de maíz blanco o amarillo.



Figura 1. Algunas poblaciones sometidas a un programa de selección recurrente: A) Típica variedad blanca cultivada en la costa de las Rías Bajas, población recogida en Ribadumia (Pontevedra), B) Variedad propia de la comarca de Tuy, en la ribera del Miño, representativa del maíz de la penillanura atlántica de Galicia, C) Mazorcas de la población 'Viana', colectada en el municipio orensano de Viana do Bolo, y D) Variedad multicolor cultivada en el municipio de Cambados (Pontevedra).

Fuera de Galicia, en la zona húmeda de España, las variedades son generalmente similares a la representada en la Figura 1B, aunque las vascas tienden a ser algo más cónicas, debido, como se indicó anteriormente, a que su introducción desde América tuvo probablemente un origen distinto.

En el Valle del Ebro abundaban las variedades del tipo “Hembrilla”, caracterizadas por su talla alta, mazorcas de ocho filas y un grano muy típico, estrecho, muy ancho y muy largo, con coloración amarilla, aunque, a veces, el endospermo es blanco. Similares, pero más precoces, eran las variedades rastrojeras, como la representada en la Figura 2.



Figura 2. Típicas mazorcas de la raza ‘Rastrojero’, maíz precoz propio del Valle del Ebro.

En Andalucía se cultivaban unas variedades muy tardías, de color amarillo, y también, al igual que en el Valle del Ebro, otras mucho más precoces: los maíces tremesinos (Figura 3).



Figura 3. Raza ‘Tremesino’. Maíz precoz de la zona Sur de España.

Levante era la zona en la que, junto con la costa gallega, más se cultivaban variedades blancas. Eran también muy típicos los maíces de tipo “Mollar”, más precoces que las variedades normales, y con grano, de modo similar a aquéllas, de color amarillo o blanco (Figura 4).



Figura 4. Mazorcas típicas de las variedades mollares del Levante español (raza ‘Enano levantino x Hembrilla’).

En lo que se refiere al maíz de palomitas hay básicamente dos tipos (Figura 5): unas variedades son uniformemente amarillas, mientras que otras presentan grano multicolor, no exis-

tiendo un patrón geográfico de distribución de un tipo o el otro. En lo que se refiere al tipo de grano, la mayoría de las variedades son de grano redondo (perla), aunque hay poblaciones en las que aparecen algunas mazorcas con grano aristado (arroz).

El maíz canario debe ser estudiado a fondo. Es muy distinto al de la Península y Baleares, y presenta un gran interés para los mejoradores ya que puede ser una fuente de genes ausentes en esas zonas. Este trabajo debe hacerse en las propias islas ya que Pontevedra, a una latitud de 42°26'N, no es un lugar apropiado para estudiar adecuadamente un material que procede de unas latitudes muy inferiores (las Islas Canarias se encuentran situadas entre los paralelos 27°37'N y 29°25'N).

En la MBG se conservan cuatro poblaciones canarias (dos de Tenerife y una de cada una de las islas de Gran Canaria y Fuerteventura) proporcionadas por el CCBAT que pueden ser multiplicadas en Pontevedra, pero con grandes dificultades; además, debido a la sensibilidad al fotoperiodo, la expresión de los caracteres de estas variedades en tierras gallegas es muy distinta a la que presentan en Canarias.



Figura 5. Variedades de maíz de palomitas: A) Variedad de maíz amarillo de grano redondo (perla) recogido en Peñaflo (Zaragoza), y B) Maíz de palomitas multicolor cultivado en Sangonera la Seca (Murcia). La mazorca central presenta granos aristados (arroz).

8.4. Uso de las variedades locales

Hay que partir del hecho de que las variedades autóctonas apenas se cultivan hoy en día en áreas de agricultura avanzada. Actualmente, en todo el mundo desarrollado el tipo de variedad comúnmente usado es el híbrido simple. Las variedades locales quedan restringidas a zonas de agricultura de subsistencia o agricultores que, por una causa u otra, quieren disponer de su propia semilla y no depender de las compañías de semillas. Pero la diferencia de productividad entre una variedad local y un híbrido simple es tan grande que las primeras van cediendo espacio a los segundos de forma continua. Y lo mismo ha ocurrido en España.

Únicamente 10.556 ha se sembraron con maíz no híbrido en 2013 según los datos del Anuario de Estadística 2014 (MAGRAMA, 2015), es decir menos del 2% de la superficie total dedicada al maíz. Las variedades autóctonas han servido de base para numerosos trabajos de caracterización y de búsqueda de resistencia a estreses cuya enumeración sería demasiado larga. Estas variedades también se han empleado en programas de selección recurrente y para la extracción de líneas puras con las que formar híbridos.

8.4.1. Programas de selección recurrente.

En la Misión Biológica de Galicia se comenzó en 1974 un programa de selección recurrente recíproca. El primer paso para ello consistió en la búsqueda de las dos poblaciones base. Se eligieron poblaciones americanas y razas españolas. El muestreo del material americano se circunscribió al Norte del Corn Belt por ser éste el mejor adaptado a las condiciones de Galicia. Por parte española se escogieron cinco razas (Sánchez-Monge, 1962). Con estas nueve poblaciones se planteó un dialelo que se ensayó durante tres años en Pontevedra y Alcalá de Henares. Se tomaron numerosos datos, si bien para la clasificación taxonómica se empleó únicamente el rendimiento. Tras el estudio de los resultados obtenidos, se formaron las poblaciones base del programa de selección con únicamente germoplasma español buscando nuevos esquemas heteróticos. El patrón heterótico empleado es «germoplasma español del Norte x germoplasma español del Sur» (Ordás, 1991). Antes de comenzar la selección recíproca, dichas poblaciones fueron sometidas a tres ciclos de selección recurrente de líneas S_1 para el rendimiento, carácter que mejoró significativamente con la selección (Vales et al., 2001). A continuación se comenzó un programa de selección recurrente interpoblacional de hermanos completos, siguiendo el método de Hallauer (1973) para poblaciones no prolíficas. La evaluación de los tres primeros ciclos de selección mostró una notable ganancia en el comportamiento del híbrido interpoblacional (4,1%/ciclo) y en el de la población del Norte (6,7%/ciclo), mientras que la población del Sur no respondió a la selección (Romay et al., 2011). En la actualidad se está completando el sexto ciclo de selección. En la EEAD se llevó a cabo un esquema similar usando el patrón heterótico «germoplasma del Corn Belt x germoplasma español del Sur», entendiendo por «germoplasma español del Sur», al igual que en el caso de la MBG, germoplasma de la zona seca de España. La evaluación de los tres primeros ciclos de selección mediante el método de Hallauer mencionado en el párrafo anterior mostró un aumento significativo del rendimiento en los cruzamientos entre las poblaciones seleccionadas (3%/ciclo) así como en los cruzamientos de las poblaciones con probadores de distinto origen (Peña-Asín et al., 2013). Finalmente se ha completado el cuarto ciclo de selección.

La población EPS7, tras tres ciclos de selección recurrente intrapoblacional, fue sometida en la MBG a un programa de selección para reducir la longitud de los túneles en el tallo producidos por el taladro mediterráneo (*Sesamia nonagrioides* Lef.) manteniendo la productividad. Un estudio con esta población confirmó que hay una correlación genética desfavorable entre

la longitud de los túneles en el tallo y el rendimiento, lo que puede dificultar el programa de mejora. Los resultados obtenidos indican que lo más conveniente es mejorar el rendimiento, no teniendo en cuenta la longitud de las galerías causadas por el taladro mediterráneo (Butrón et al., 2012).

Otro programa de selección recurrente se ha llevado a cabo en la MBG con variedades gallegas. Se eligieron cuatro poblaciones: una amarilla tardía ('Tuy'), una amarilla precoz ('Viana'), una blanca tardía ('Ribadumia') y, finalmente, una blanca precoz ('Rebordanes'). Estas cuatro poblaciones fueron sometidas a un esquema de selección recurrente de líneas S_1 para mejorar el rendimiento. Se han terminado ya tres ciclos de selección y se ha constatado una respuesta positiva (datos sin publicar).

En la MBG y en NEIKER se organizó también un programa de mejora de la calidad harinera de las variedades locales. En la MBG el primer paso consistió en la evaluación de una colección de variedades autóctonas en condiciones de agricultura ecológica (Revilla et al., 2008). Las mejores variedades resultaron ser 'Tuy', 'Sarreaus' (precoz de grano amarillo), 'Meiro' (tardía de grano negro) y 'Rebordanes'. Posteriormente se organizó un programa de selección recurrente para mejorar la calidad harinera y el rendimiento de grano de las tres últimas ya que 'Tuy' ya estaba seleccionada en el programa mencionado en el párrafo anterior y su calidad harinera era elevada. La evaluación de este programa (Revilla et al., 2012) mostró, entre otros resultados, que las poblaciones incluidas en el estudio fueron significativamente diferentes en calidad del grano, en tanto que las variaciones en el rendimiento se debían principalmente a efectos ambientales. En NEIKER se mejoró, mediante un esquema similar al de la MBG, la variedad 'Donostia'.

Un grave problema de la harina de maíz para consumo humano es la posible presencia de micotoxinas y deoxynivalenol (DON), productos altamente tóxicos para aves y mamíferos. Con este objetivo se planteó una evaluación de la presencia de estos productos en el grano (Ruiz de Galarreta et al., 2015). Esta evaluación incluyó nueve variedades de la MBG y de NEIKER, cultivadas en condiciones ecológicas y convencionales. Se incluyeron poblaciones obtenidas en los programas de selección mencionados anteriormente. No se encontraron diferencias entre la contaminación por fumonisinas entre el cultivo convencional o el ecológico, aunque sí entre las diferentes variedades; en cambio, no hubo diferencias entre variedades para el contenido de DON.

Finalmente, se evaluó el comportamiento agronómico y la calidad del grano en condiciones de agricultura ecológica de 20 poblaciones, que incluían, entre otras, variedades resultantes de los programas de selección recurrente de 'Donostia', 'Meiro', 'Rebordanes', 'Sarreaus' y 'Tuy' (Revilla et al., 2015). Los resultados obtenidos demuestran que es posible obtener una respuesta positiva a la selección para los caracteres mencionados en alguna población, pero esta respuesta positiva dista mucho de ser general.

8.4.2. Obtención de híbridos

Las líneas puras de maíz obtenidas en España se identifican con las letras EC (las obtenidas en el CIAM), EP (las de la MBG), EZ (las de la EEAD) y EV (las de Neiker), seguidas de un número identificativo de orden. A finales de la década de los 50 del siglo pasado la MBG desarrolló tres híbridos de tallo azucarado (DMB 5-8, DMB 7-14 y DMB 11-4) que tuvieron alguna difusión especialmente el primero, muy cultivado en Galicia en los años 60-70. Su fórmula era: (EP5 × EP2) (EP3 × EP4). La línea EP5 es una selección de la línea R86 de Illinois, la EP2 fue obtenida a partir de la variedad 'Maíz alto de León' y las líneas EP3 y EP4 proceden de la variedad 'Longfellow'. Posteriormente, en los años 80 se obtuvo el híbrido de tres líneas DMB 15-70, mediante un trabajo de colaboración entre la MBG y DeKalb AgResearch, y que incluía la línea EP42 (obtenida a partir de una variedad local gallega) y un híbrido simple propiedad de la empresa. El híbrido DMB 15-70 se cultivó extensamente en Galicia durante bastantes años.

De los híbridos obtenidos en el CIAM, destacan, entre otros, los denominados Hórreo 330 y Dominó 450. La fórmula del primero es (A632 × W117) EC21 y la del segundo A632 × EC22. A632 y W117 son líneas puras públicas norteamericanas; EC21 fue obtenida a partir de la raza 'Gallego' y EC22 a partir de una variedad local gallega. Estos híbridos tuvieron también bastante difusión en Galicia en los años 80-90.

8.5. El futuro de las variedades locales

Se ha argumentado que si el esfuerzo dedicado a la investigación para la obtención de híbridos productivos se hubiese destinado a la mejora de las variedades locales, ahora tendríamos variedades que serían competitivas frente a los híbridos. La evaluación de tres ciclos de selección recurrente recíproca en las poblaciones EPS13 y EPS14 (derivadas de las poblaciones EPS6 y EPS7 mencionadas anteriormente) mostró que el rendimiento del cruzamiento entre las poblaciones resultantes del tercer ciclo de selección era de 8,8 t/ha, superior al de algunos híbridos testigos antiguos, aunque inferior al rendimiento de híbridos modernos, si bien no muy alejado (Romay et al., 2011), lo que corrobora en cierto grado lo expuesto en la frase anterior. Por otra parte, la producción de un híbrido varietal es mucho más fácil que la de un híbrido entre dos líneas puras, por lo que el precio de la semilla puede ser mucho menor. En este programa de selección, los rendimientos *per se* de las variedades mejoradas son bastante inferiores a los de los híbridos, aunque la población adaptada (EPS13) tiene unas producciones que rondan (e incluso superan en algún caso) las 7 t/ha, no difiriendo significativamente del rendimiento de algunos híbridos testigos antiguos, aunque sí son menores que los de los híbridos testigos modernos. Por otra parte hay que tener en cuenta que el número de familias recombinadas en cada ciclo de selección fue pequeño: solo 10. Mediante microsatélites se encontraron unos censos efectivos de 7,70 y 11,99 individuos para las poblaciones resultantes del tercer ciclo de selección recurrente recíproca

de EPS13 y EPS14, respectivamente. El número de alelos por locus decreció desde 4,25 y 4,26 en las poblaciones originales (EPS6 y EPS7) hasta 2,74 y 2,64 (Romay et al., 2012). Así pues, hay una deriva genética y, consecuentemente, un aumento de la consanguinidad con la selección, lo cual reduce el rendimiento de las poblaciones finales. No es, por lo tanto, descabellado pensar que un programa de selección con censos efectivos mayores podría dar lugar a poblaciones con rendimientos cercanos o iguales a los de los híbridos convencionales.

8.6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Secretaría de Estado de Investigación (proyecto RF2011-00022-C02-01) y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (proyecto RF2013-00010-00-00).

8.7. Referencias

- Alvarez A, Lasa JM. 1987a. Asturian populations of maize. I. Morphological-vegetative description and variability. *An Aula Dei* 18: 177–186.
- Alvarez A, Lasa JM. 1987b. Asturian populations of maize. II. Numerical taxonomy based on quantitative traits. *An Aula Dei* 18: 187–197.
- Alvarez A, Lasa JM. 1990a. Populations of maize from Cantabria. I. Morphological evaluation and variability. *An Aula Dei* 20: 41–49.
- Alvarez A, Lasa JM. 1990b. Populations of maize from Cantabria. II. Numerical taxonomy based on quantitative traits. *An. Aula Dei* 20: 51–58.
- Andersson E, Brown WL. 1952. Origin of Corn Belt maize and its genetic significance. pp 124–148. En JW Gowen (ed.) *Heterosis*. The Iowa State College Press y Hafner Publishing Co., Nueva York, ee.uu.
- Andersson E, Cutler HC. 1942. Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 29: 69–89.
- Bennetzen J, Buckler E, Chander V, Doebley J, Dorweiler J, Brandon G, Freeling M, Hake S, Kellog E, Scott-Poethig R, Walbot V, Wessler S. 2001. Genetic evidence and the origin of maize. *Latin Am. Antiq.* 12: 84–86.
- Bird RMcK, Goodman MM. 1977. The races of maize V: Grouping maize races on the basis of ear morphology. *Econ Bot* 31: 471–481.
- Butrón A, Romay MC, Peña-Asín J, Alvarez A, Malvar RA. 2012. Genetic relationship between maize resistance to corn borer attack and yield. *Crop Sci* 52:1176–1180.
- Crabb AR. 1947. *The hybrid corn makers: Prophets of plenty*. Rutgers University Press, EE.UU.
- De la Sota, D., Areses, R., Gallástegui, C. 1930. *Misión Biológica de Galicia: Resumen de los trabajos realizados durante el año 1929*. Servicio de Publicaciones Agrícolas del Ministerio de Economía Nacional, Madrid.

- Doebley J. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44 (3 suppl): 6–27.
- Doebley J. 2004. The genetics of maize evolution. *Annu. Rev. Genet.* 38: 37–59.
- FAO, 2014. <http://faostat3.fao.org/Q/QC/S>.
- Goodman MM. 1967. The races of maize: I. The use of Mahalanobis' distances to measure morphological similarity. *Fitotecnia Latinoamericana* 4: 1–22.
- Goodman MM. 1968. The races of maize: II. Use of multivariate analysis of variance to measure morphological similarity. *Crop Sci* 8:693–698.
- Goodman MM, Bird RMcK. 1977. The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Econ Bot* 2:204–221.
- Goodman MM, Brown WL. 1988. Races of corn. En: Sprague GF, Dudley JW (eds.) *Corn and corn improvement*, 3ª ed. *Agronomy* 18:33–79.
- Goodman MM, Paterniani E. 1969. The races of maize: III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ Bot* 23:265–273.
- Gouesnard B, Dallard J, Bertin, P, Boyat A, Charcosset A. 2005. European maize landraces: genetic diversity, core collection definition and methodology of use. *Maydica* 50: 225–234.
- Hallauer AR. 1973. Hybrid development and population improvement in maize by reciprocal full-sib selection. *Egypt J Genet Cytol* 2: 84-101.
- Iltis HH, Doebley JF. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Amer J Bot* 67: 994–1004.
- Hayes HK. 1963. A Professor's story of hybrid corn. Burgess Publishing Co., Minneapolis, Minnesota, EE.UU.
- Llauradó M, Moreno-González J. 1993. Classification of Northern Spanish populations of maize. I. Morphological data. *Maydica* 38: 15–21.
- Llauradó M, Moreno-González J, Arús P. 1993. Classification of Northern Spanish populations of maize. II. Isozyme variation. *Maydica* 38:249–258.
- MAGRAMA, 2015. Anuario de estadística 2014. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- Mangelsdorf PC. 1974. Corn, its origin, evolution, and improvement. Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachussets, EE.UU.
- Ordás A. 1991. Heterosis in crosses between American and Spanish populations of maize. *Crop Sci.* 31: 931–935.
- Ordás A. 1993. Perspectiva histórica de los maíces híbridos en Galicia. pp 189–195. En MA Barrecheguren, M Cabrero, J Collar, J Moreno, G Santaolalla, J Zea (eds.). 100 años de investigación agraria 1888–1988. Vol. II. Xunta de Galicia, España.
- Ordás A, Malvar RA, Ron AM de. 1987. Heritability of several traits in an early population of maize. *An. Aula Dei* 18: 171–176.
- Ordás A, Malvar RA, Ron AM de. 1994. Relationships among American and Spanish populations of maize. *Euphytica* 79: 149–161.
- Peña-Asín J, Álvarez A, Ordás A, Ordás B. 2013. Evaluation of three cycles of full-sib

- reciprocal recurrente selection in two maize populations from the Northeast of Spain. *Euphytica* 191: 301–310.
- Pérez García JM. 1981. Aproximación al estudio de la penetración del maíz en Galicia. En Eiras Roel A (eds.). *La historia social de Galicia en sus fuentes de protocolos*. Universidad de Santiago de Compostela.
 - Rebourg C, Chastanet M, Gouesnard B, Welcker C, Dubreuil P, Charcosset A. 2003. Maize introduction into Europe: the history reviewed in the light of molecular data. *Theor. Appl. Genet.* 106: 895–903.
 - Revilla P, Soengas P, Malvar RA, Cartea ME, Ordás A. 1998. Isozyme variation and historical relationships among the maize races of Spain. *Maydica* 43: 175–182.
 - Revilla P, Soengas P, Cartea ME, Malvar RA, Ordás A. 2003. Isozyme variability among European maize populations and the introduction of maize on Europe. *Maydica* 48: 141–152.
 - Revilla P, Ruiz de Galarreta JI, Malvar RA, Landa A, Ordás A. 2015. Breeding maize for traditional and organic agriculture. *Euphytica* 205: 219–230.
 - Rodríguez VM, Romay MC, Ordás P, Revilla P. 2010. Evaluation of European maize (*Zea mays* L.) germplasm under cold conditions. *Genet. Resour. Crop Evol.* 57: 329–335.
 - Ruiz de Galarreta JI, Alvarez A. 1990. Guipuzcoan populations of maize. I. Morphological evaluation and correlation between quantitative traits. *An Aula Dei* 20: 27–39.
 - Ruiz de Galarreta JI, Butrón A, Ortiz-Barredo A, Malvar RA, Ordás A, Landa A, Revilla P. 2015. Mycotoxins in maize grains grown in organic and conventional agriculture. *Food Control* 52: 98–102.
 - Sánchez JJ, Goodman MM. 1992. Relationships among Mexican and some North American and South American races of maize. *Maydica* 37:41–51.
 - Sánchez JJ, Goodman MM, Rawlings JO. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ Bot* 47: 44–59.
 - Sánchez-Monge E. 1962. *Razas de maíz en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid.
 - Sturtevant EL. 1899. *Varieties of corn*. USDA Office of Exp. Stn. Bull. 57. U.S. Gov. Print. Offic, Washington, DC, EE.UU.
 - Tenaillon MI, Charcosset A. 2011. A European perspective on maize history. *C. R. Biologies* 334: 221–228.
 - Troyer AF. 1999. Background of U.S. hybrid corn. *Crop Sci.* 39: 601–626.
 - Troyer AF. 2001. Temperate corn – Background, behavior, and breeding. pp. 393–466. En AR Hallauer (ed.) *Specialty corns*, 2^a ed. crc Press, EE.UU.
 - Troyer AF. 2004. Background of u.s. hybrid corn II: Breeding, climate, and food. *Crop Sci.* 44: 370–380.
 - Troyer AF. 2007. Background and importance of ‘Minnesota 13’ corn. *Crop Sci.* 47: 905–914.
 - Troyer AF, Mikel MA. 2010. Minnesota corn breeding history: Department of Agronomy & Plant Genetics Centennial. *Crop Sci.* 50: 1141–1150.

- Troyer AF, Palmer LS. 2006. Background and importance of Troyer Reid Corn. *Crop Sci.* 46: 2460–2467.
- Vales MI, Malvar RA, Revilla P, Ordás A. 2001. Recurrent selection for grain yield in two Spanish maize synthetic populations. *Crop Sci.* 41:15–19.
- Romay MC, Ordás B, Revilla P, Ordás A. 2011. Three cycles of full-sib reciprocal recurrent selection in two Spanish maize populations. *Crop Sci.* 51:1016–1022.
- Romay MC, Butrón A, Ordás A, Revilla P, Ordás B. 2012. Effect of recurrent selection on the genetic structure of two broad-based Spanish maize populations. *Crop Sci.* 52: 1493–1502.
- Wallace HA, Brown WL. 1956. *Corn and its early fathers*. Michigan State Univ. Press, East Lansing, Michigan, EE.UU.
- Wellhausen EJ, Roberts L, Hernández XE. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Folleto Técnico, Secretaría de Agricultura y Ganadería, Ciudad de México, México.
- Wilkes G. 2004. Corn, strange and marvelous: But is a definitive origin known? pp. 3–63. En CW Smith, J Betrán, ECA Runge (eds.) *Corn: Origin, history, technology, and production*. Wiley.