

Libros de **Cátedra**

Cereales de verano

María Rosa Simón y Silvina Inés Golik (coordinadoras)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

CEREALES DE VERANO

María Rosa Simón
Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Dedicatorias

A nuestras familias y amigos que constituyen un constante apoyo espiritual en nuestras vidas.
A nuestros alumnos que nos incentivan para continuar profundizando en esta interesante disciplina
y en la apasionante misión de enseñar.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de La Plata, por su apoyo para la realización y publicación de este libro y a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales que es el ámbito en que desarrollamos nuestro curso.

Nuestro especial reconocimiento a los docentes del curso de Cerealicultura, que nos precedieron, que estimularon nuestra vocación docente y nos señalaron el camino a seguir.

A los docentes e investigadores de los que nos hemos nutrido a través de sus publicaciones para completar esta obra.

Índice

PRÓLOGO	9
Capítulo 1	
Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química	10
<i>Silvina Golik, Silvina Larran, Guillermo Gerard, María Constanza Fleitas</i>	
Capítulo 2	
Maíz: Crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz	26
<i>Silvina Golik, Matías Schierenbeck, Juan Ignacio Dietz, María Constanza Fleitas</i>	
Capítulo 3	
Maíz: Época y densidad de siembra	41
<i>María Rosa Simón, Matías Schierenbeck, Juan Ignacio Dietz</i>	
Capítulo 4	
Maíz: Fertilización y rotaciones	57
<i>Silvina Golik, María Constanza Fleitas</i>	
Capítulo 5	
Maíz: Manejo de enfermedades	75
<i>María Rosa Simón, Silvina Larran, María Constanza Fleitas</i>	
Capítulo 6	
Maíz: Manejo de plagas	101
<i>María Rosa Simón, Juan Ignacio Dietz, Matías Schierenbeck</i>	
Capítulo 7	
Maíz: Manejo de malezas	133
<i>María Soledad Zuluaga, Silvina Golik, María Constanza Fleitas, Carlos Campanela</i>	
Capítulo 8	
Maíz: Zonas de cultivo	151
<i>Silvina Golik, Matías Schierenbeck, María Constanza Fleitas</i>	
Capítulo 9	
Maíz: Usos y comercialización	177
<i>María Rosa Simón, Guillermo Sebastián Gerard</i>	

Capítulo 10

Maíz: Objetivos del mejoramiento genético_____ 191
Guillermo Gerard, María Rosa Simón

Capítulo 11

Sorgo: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química_____ 212
Silvina Golik, Silvina Larran, Guillermo Gerard, Juan Pablo Uranga, María Constanza Fleitas

Capítulo 12

Sorgo: Crecimiento y desarrollo_____ 228
Silvina Golik, María Constanza Fleitas

Capítulo 13

Sorgo: Época y densidad de siembra_____ 244
Silvina Golik

Capítulo 14

Sorgo: Fertilización y rotaciones_____ 252
Silvina Golik, María Constanza Fleitas

Capítulo 15

Sorgo: Manejo de enfermedades_____ 260
Silvina Larran, María Constanza Fleitas, María Rosa Simón

Capítulo 16

Sorgo: Manejo de plagas_____ 279
María Rosa Simón

Capítulo 17

Sorgo: Manejo de malezas_____ 284
Soledad Zuluaga, Silvina Golik, María Constanza Fleitas, Carlos Campanela

Capítulo 18

Sorgo: Zonas de cultivo_____ 293
Silvina Golik, María Constanza Fleitas

Capítulo 19

Sorgo: Usos y comercialización_____ 301
María Rosa Simón, Silvina Golik, Guillermo Sebastián Gerard

Capítulo 20

Sorgo: Objetivos del mejoramiento genético_____ 316

María Rosa Simón, Guillermo Gerard

Capítulo 21

Arroz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química_____ 330

Alfonso Vidal

Capítulo 22

Arroz: Crecimiento y desarrollo_____ 341

Alfonso Vidal

Capítulo 23

Arroz: Época y densidad de siembra_____ 352

Alfonso Vidal

Capítulo 24

Arroz: Fertilización y rotaciones_____ 356

Rodolfo Bezus

Capítulo 25

Arroz: Manejo de enfermedades_____ 364

Alfonso Vidal, María Constanza Fleitas

Capítulo 26

Arroz: Manejo de plagas_____ 373

Alfonso Vidal

Capítulo 27

Arroz: Manejo de malezas_____ 380

Rodolfo Bezus

Capítulo 28

Arroz: Zonas de cultivo_____ 392

Alfonso Vidal

Capítulo 29

Arroz: Usos y comercialización_____ 397

Alfonso Vidal

Capítulo 30

Arroz: Objetivos del mejoramiento genético_____405

Alfonso Vidal

Capítulo 31

Análisis comparativo de aspectos morfológicos, fenológicos
y de manejo en los cultivos de maíz, sorgo y arroz_____408

María Rosa Simón, María Constanza Fleitas

Los autores_____427

CAPÍTULO 1

Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química

*Silvina Golik, Silvina Larran, Guillermo Gerard
y María Constanza Fleitas*

Importancia

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética, teniendo el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, tal como ha sucedido con la aparición de los híbridos. El éxito en los avances tecnológicos del cultivo de maíz estimuló una revolución agrícola generalizada en muchas partes del mundo.

Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total. Es considerado de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano (uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen), como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. En Argentina en los últimos cinco años se han producido, en promedio, 26,5 millones de toneladas (SIIA, 2015) en 4 millones de ha., en tanto que a nivel mundial la producción promedio para las mismas campañas fue de 900 millones de toneladas (Maizar, 2015).

En los últimos años la búsqueda de nuevas alternativas de energías se ha profundizado debido, principalmente, a los elevados precios del petróleo, teniendo muchos países exigencias en el uso de energías renovables como la bioenergía obtenida a partir de cultivos árboles y desechos. Los biocombustibles constituyen las energías renovables que más han crecido y entre ellos, el etanol, el cual representa el 90% del suministro mundial de biocombustibles líquidos proveniente principalmente a partir de la caña de azúcar y del maíz. Ello, ha hecho que el maíz además de fuente alimenticia sea la fuente de energía renovable más importante del mundo.

El maíz es cultivado en una amplia diversidad de ambientes, siendo mucho mayor que cualquier otro cultivo. Se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile. Con respecto a la altitud, el maíz es cultivado a altitudes medias, si bien también se lo cultiva por debajo del nivel del mar. De acuerdo a la altitud donde se lo cultiva y el ambiente, el maíz se clasifica en dos tipos. El que se cultiva en ambiente cálidos (entre la línea ecuatorial y los 30° de latitud sur y los 30° de latitud norte es el maíz conocido como “*maíz tropical*” y el que se cultiva en climas más fríos (a más de los 34° de latitud sur y norte) es llamado *maíz de zona templada*. Los maíces que se cultivan entre los 30° y 34° de las latitudes norte y sur se conocen como *maíces subtropicales* (Paliwal, 2001).

Origen y sistemática

El maíz es originario de América y su historia está muy asociada a las culturas precolombinas. La escuela rusa de Vavilov ubica su origen geográfico en el sur de México y norte de América Central. Allí existe una enorme variabilidad de formas y crecen al estado silvestre sus parientes más cercanos: los teosintes, originalmente determinados como el género *Euchlaena*. En una área de distribución más amplia, desde América del Norte hasta el chaco paraguayo, se encuentran los otros parientes silvestres, filogenéticamente más distantes, como son los integrantes del género *Tripsacum*.

En cuanto a su origen filogenético, existen diferentes teorías:

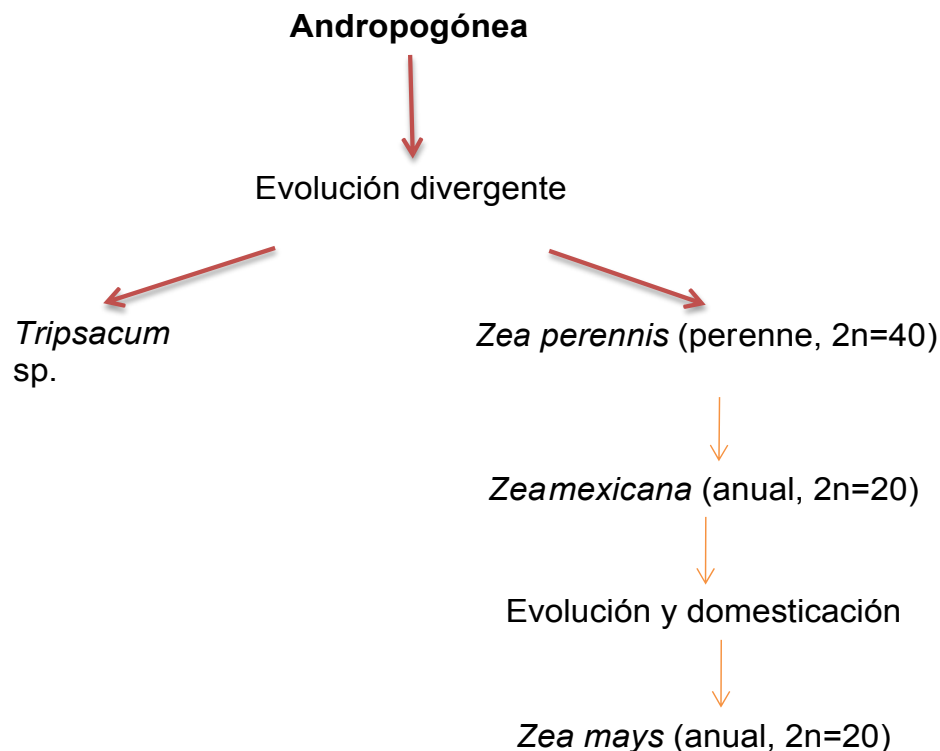
Una de las teorías acepta el hecho de que el teosinte es el antecesor silvestre y/o allegado al maíz y que ha participado directamente en el origen del maíz cultivado (Iltis, 1983; Mangelsdorf, 1986; Galinat, 1988, 1995; Goodman, 1988; Doebley, 1990). Galinat (1988) conjuntamente con Harlan & de Wet (1971), tuvieron en cuenta estudios arqueológicos, morfológicos, hibridológicos, genéticos y citogenéticos del maíz (*Zea*), los teosintos (*Euchlaena*) y el género *Tripsacum*.

Se aceptan, en forma indiscutida, como los restos fósiles más antiguos los hallados en los valles mexicanos de Tehuacán y Tamaulipas, que datan de 5200 a 3400 años A.C. Estos restos probarían la evolución a partir de formas tunicadas silvestres, con espigas bisexuales, de flores femeninas basales y masculinas en el ápice, de 2 cm de largo.

Para la evaluación del comportamiento hibridológico, se realizaron cruzamientos entre el maíz (*Zea mays* 2n=20), los teosintos (*Euchlaena mexicana* 2n=20 y *Euchlaena perennis* 2n=40) y *Tripsacum dactyloides* (2n = 36; 2n=54; 2n=72). Los resultados permiten establecer que el maíz y los teosintos están dentro de un mismo “pool” genético primario, con cruzamientos fértiles e intercambios genéticos relativamente liberales, mientras que maíz y *Tripsacum* pertenecen a un “pool” genético secundario, con transferencia genética factible pero difícil. Estas investigaciones, sumadas a estudios citogenéticos y electroforéticos, permiten establecer las siguientes conclusiones:

1.- Hay evidencia suficiente para considerar que los teosintos (*Euchlaena mexicana* y *Euchlaena perennis*) y el maíz (*Zea mays*) pertenecen a un mismo género *Zea*, con tres especies: *Zea mays*, *Zea mexicana* y *Zea perennis*.

2.- Hay evidencia suficiente para suponer que el teosinto es el antecesor silvestre inmediato del maíz y que su transformación fue acentuada por la selección humana. En base a estas evidencias, Galinat (1988) ha podido elaborar su teoría del origen filogenético cuya representación en la gráfica:



Con posterioridad, se encontró en México una especie silvestre, perenne, con $2n=20$, a la que se denominó *Zea diploperennis* y sería el nexo entre la forma perenne de $2n=40$ y las anuales de $2n=20$. Algunos experimentados estudiosos del maíz no están de acuerdo con la teoría de la evolución del teosinte a maíz y creen que el maíz se originó de antiguas formas de maíz silvestre (Mangelsdorf, 1986; Wilkes, 1985, 1989). Wilkes (1979) y Wilkes & Goodman (1995) han resumido en forma de diagrama varios modelos probables para el origen del maíz. Estos son: I) evolución vertical del maíz moderno a partir de maíz silvestre; II) progresión de teosinte a maíz; III) separación del maíz y el teosinte, originados ambos en un ancestro común, habiéndose separado durante el proceso evolutivo; y, IV) hibridación, habiéndose originado el maíz como un híbrido entre teosinte y una gramínea desconocida (Fig. 1.1). Los últimos informes indican que la naturaleza anfidiplóide o tetraploide del cariotipo del maíz agrega un elemento más al enigma del origen del maíz (Fig. 1.2).

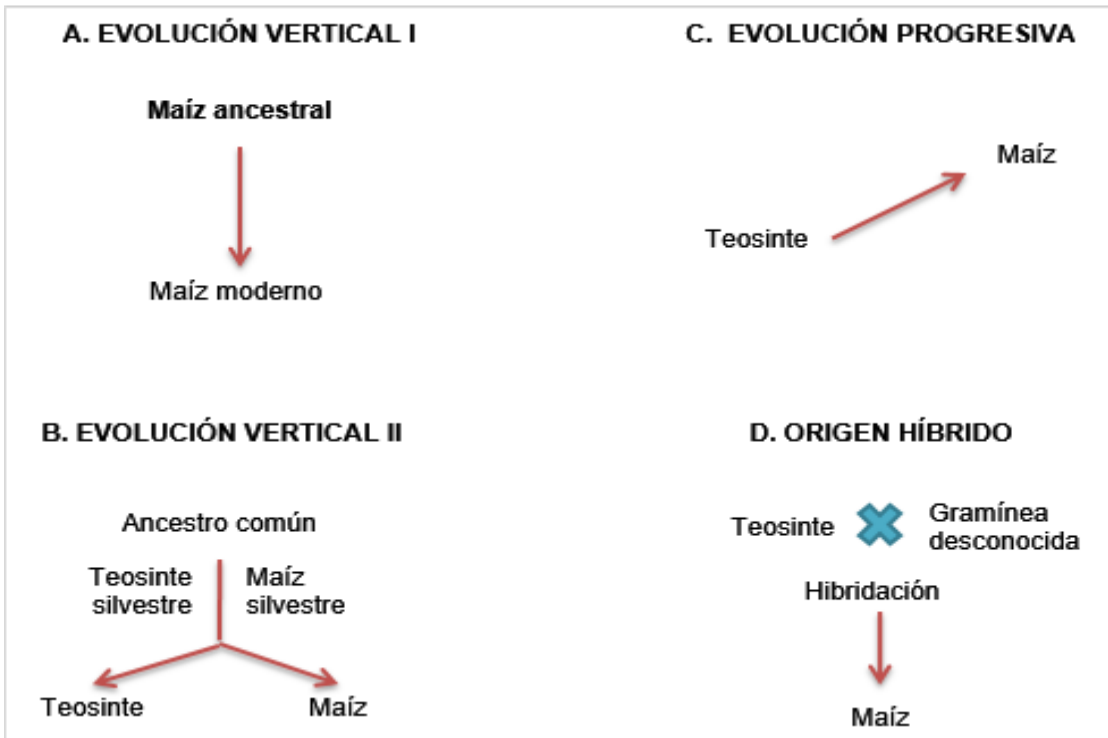


Figura 1.1. Teorías relacionadas con la evolución del maíz

Taxonomía o sistemática del maíz

En la actualidad el maíz taxonómicamente se reconoce como *Zea mays* ssp. *mays*. Es una gramínea de la tribu de las Maideas, que comparte con *Z. mays* ssp. *mexicana* y *Z. mays* ssp. *parviglumis*, (ambas de $2n=20$) la Sección *Zea* de dicha tribu. Las distintas formas o tipos de maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) fueron clasificadas por Sturtevant (1899) en base, principalmente, a las particularidades de la reserva hidrocarbonada (Fig. 1.3). A continuación se detalla la clasificación:

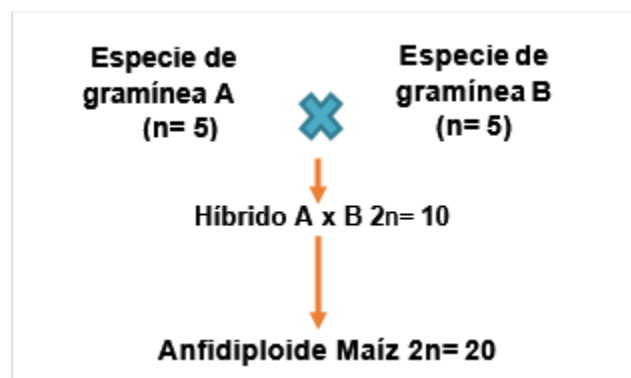


Figura 1.2. Posible origen híbrido del maíz con duplicación de los cromosomas.

A.- Cariopses desnudos; glumas y glumelas cortas y tenues.

A1.- Cariopses vestidos, cada grano envuelto por glumas y glumelas muy desarrolladas y herbáceas.

Zea mays ssp. *mays* var. *tunicata* (maíz tunicado o vestido)

B.- Endosperma totalmente harinoso y blando con una porción córnea periférica muy delgada; endosperma blanco cualquiera sea la coloración exterior del grano (pericarpio y/o aleurona), al yodo se colorea de azul-violeta; granos medianos o grandes, aovados o acuminados.

Zea mays ssp. *mays* var. *amylacea* (maíz capia)

B1.- Endosperma córneo o vítreo en la zona externa y harinoso en la parte que rodea al embrión.

C.- Granos aovados o acuminados; turgentes y duros; el endosperma córneo ocupa las partes laterales y superior.

C1.- Granos aovados o cuneiformes; deprimidos o rugosos en la parte superior.

D.- Endosperma córneo a los costados del grano, parte mediana hasta la extremidad superior harinosa; toma coloración azul con el yodo. Granos en forma de diente.

Zea mays ssp. *mays* var. *indentata* (maíz dentado)

D1.- Endosperma almidonoso; toma color azul-violeta con el yodo; granos lustros

D2. Endosperma ceroso, formado por un hidrato de carbono que por acción de yodo se colorea de rojizo. Granos opacos

Zea mays ssp. *mays* var. *ceratina* (maíz céreo o "waxy")

D3.- Endosperma translúcido y dextrinoso; toma coloración rojiza con el yodo. Granos rugosos, dulces.

E.- Endosperma totalmente dextrinoso o con una reducida porción harinosa rodeando el embrión. Granos rugosos cuando secos.

Zea mays ssp. *mays* var. *saccharata* (maíz dulce)

E1.- Endosperma dextrinoso en las partes laterales y superior del grano, harinoso en los dos tercios inferiores rodeando el embrión.

Zea mays ssp. *mays* var. *amylea saccharata* (maíz chulpi)

Esta clasificación ha sido usada casi sin modificación durante los últimos 50 años, aunque algunos plantean que la clasificación solo sobre caracteres del endospermo depende para su expresión de un único punto sobre un cromosoma (Wellhausen *et al.*, 1987), por lo que resulta importante efectuar una clasificación sobre todo el plasma germinal e incluir el

mayor número de datos genéticos como características de las mazorcas, caracteres genéticos, citológicos, fisiológicos y agroquímicos. Por tal motivo, dichos autores propusieron una clasificación basada en la constitución genética total e hicieron una clasificación de los maíces criollos de México, Centro y Sudamérica, y parte de los Estados Unidos.

Partiendo de estas desventajas, se dispone de nuevos criterios para la clasificación racial del maíz, los cuales enriquecen los estudios anteriormente realizados, considerando los caracteres morfológicos del grano. En México, se han incluido en los análisis otros caracteres, como la calidad industrial y calidad para elaborar determinados alimentos por parte de las comunidades que conservan in situ las razas locales de maíz (Aragón-Cuevas *et al.*, 2006). En España, se han incorporado otros caracteres morfológicos de la planta y las mazorcas (Sinobas & Díaz, 1999), usándose además para hacer comparaciones con posibles ancestros de las razas de ese país.

Con el descubrimiento de los marcadores moleculares y la gran utilidad de estos por su eficiencia, distribución a lo largo del genoma y sobre todo por no tener influencia del ambiente, constituyen en la actualidad los mejores métodos para la caracterización de las poblaciones de maíz existentes en el mundo, así como para la caracterización racial de los maíces conservados in situ y ex situ. Algunos han utilizado estas bondades de los marcadores microsatélites y analizaron cerca de 350 razas nativas de Las Américas (Vigouroux *et al.*, 2008), determinando la existencia de complejos raciales pertenecientes a las zonas altas de México, al norte de Estados Unidos, maíces tropicales y un complejo asociados a las razas Andinas.

La escuela rusa que estableciese el origen geográfico en el sur de México y norte de América Central, también estableció los 8 centros de diversificación para las 9 distintas variedades de *Zea mays ssp. mays*.

- a) México Central: Corresponde a la zona de la meseta central, donde se concentraron *Zea mays ssp. mays* var. *indentata*, el maíz dentado, y el *Zea mays ssp. mays* var. *everta*, el pisingallo o picudo.
- b) Sud de México y Guatemala: En la zona de la península del Yucatán se encontró la mayor concentración de formas de *Zea mays ssp. mays* var. *indentata*, los duros o "flint".
- c) Sur de Perú: En el Cuzco se localiza el centro de diversificación de *Zea mays ssp. mays* var. *amylacea*; el maíz capia que tiene un centro de diversificación secundario en la zona de Boyacá, en los Andes colombianos.
- d) Centro y Este de Estados Unidos: En esta zona, no muy definida, se habría localizado el *Zea mays ssp. mays* var. *saccharata*, maíz dulce o de choclo o de huerta.
- e) Sur de Perú, Bolivia y norte Argentino: En esta amplia región se concentró la mayor diversificación de *Zea mays ssp. mays* var. *amylea saccharata*, los maíces chulpi.
- f) Chaco paraguayo: En esta zona se encontró a *Zea mays ssp. mays* var. *tunicata*, el maíz "vestido".
- g) Boyacá: En los Andes colombianos se encuentra el centro de diversificación de los maíces perla *Zea mays ssp. mays* var. *microsperma*.

- h) Sudeste Asia: Es una amplia zona que comprende Birmania, China, Filipinas e Indonesia, siendo el único centro de diversificación extra americano, el de maíz céreo o “waxy”, *Zea mays ssp. mays var. ceratina*.

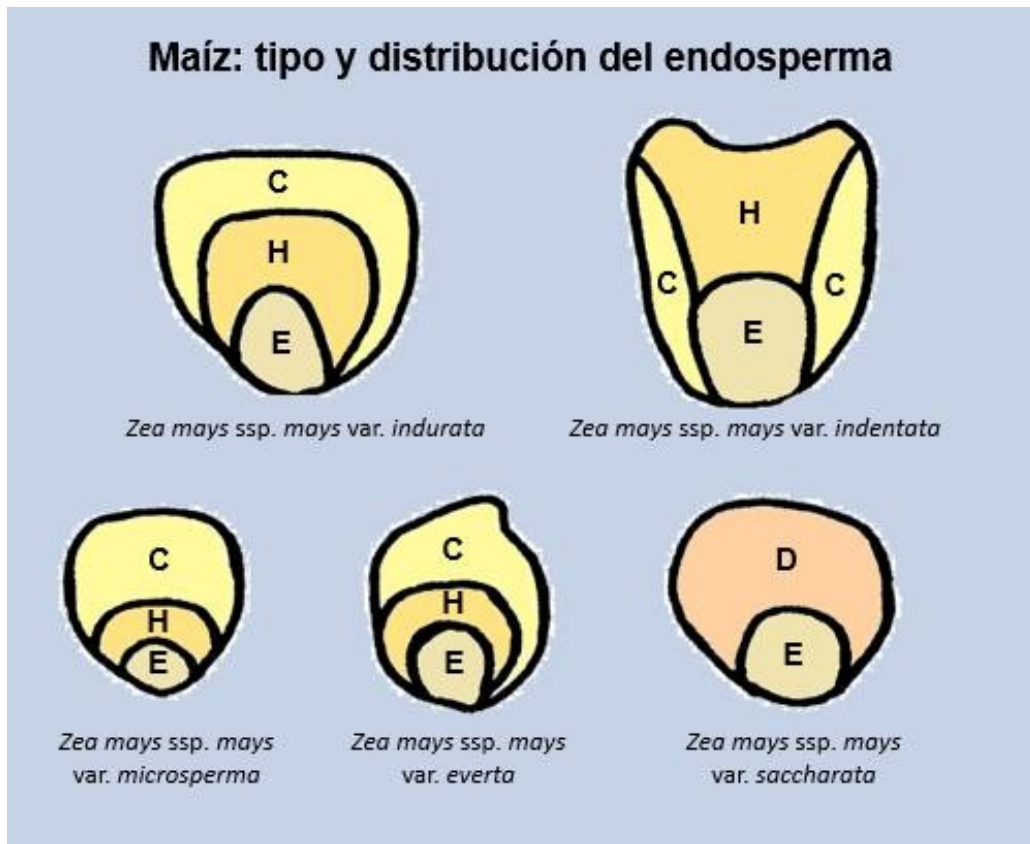


Figura 1.3. Las distintas formas o tipos de maíz (*Zea mays ssp. mays*) clasificadas por Sturtevant (1899)

Morfología

Sistema radical

Seminales

Caulérgicas o adventicias:

- Normales o subterráneas
- De sostén o anclaje.

Seminales

Son normalmente cuatro: primaria, 1° par, 4° raíz. Su función fundamental es de proveer de agua a la plántula para movilizar las reservas del grano. Son poco ramificadas y de poca penetración (en suelos permeables puede llegar a 30 cm). Permanecen durante todo el ciclo de la planta y coadyuvan a la absorción de agua y nutrientes.

Cauléropicas o adventicias

Normales o subterráneas

Se originan en los ocho a diez nudos subterráneos cuyos entrenudos no desarrollan. Cada uno es capaz de emitir hasta veinte raíces (Andrade *et al.*, 1996). Estas raíces inicialmente crecen en sentido lateral, extendiéndose hasta 80 cm – 1m; profundizan aproximadamente 35 cm hasta una o dos semanas antes del panojado. A partir de allí el desarrollo es principalmente en profundidad y continúa hasta la marchitez de los estigmas. La profundidad alcanzada depende fundamentalmente del tipo de suelo y de allí la importancia de algunas prácticas culturales.

Sostén o anclaje

Se originan en los primeros nudos aéreos y su parición coincide con la profundización de las normales. Son de la misma constitución que éstas, solo que más gruesas y pigmentadas (verdes) en la parte aérea. Su desarrollo se ve favorecido por el aporque y semiaporque.

Tallo

Está compuesto por nudos y entrenudos sólidos cuyo número varía entre seis y cuarenta, determinando alturas que van de 0,45 m (var. Golden Tom Thumb) a 6 m en los maíces tropicales. En el país, la mayoría de los cultivares se sitúan en el promedio de trece nudos, con una altura de 1,80 a 2,20 m. Los entrenudos basales son más cortos y de mayor sección que los otros. La longitud del tallo está muy influenciada por la disponibilidad de agua durante el periodo de crecimiento vegetativo.

Existen varios factores genéticos, en su mayoría recesivos, que modifican la altura y otras características de un tallo de maíz. El carácter braquítico (br1) determina acortamiento de entrenudos, el dwarf (enano-d1) y el nana (na1) plantas muy bajas y compactas; el lazy (perezoso-la) crecimiento postrado luego de 30-45 cm de crecimiento normal.

En cada uno de los nudos y en forma alterna, se encuentra una yema que sólo desarrolla entre el 6° y 8° para formar la espiga, como única ramificación lateral. La presencia de esa yema va acompañada por un surco que corre en forma longitudinal por el entrenudo y que es más pronunciado en los entrenudos a que corresponden las espigas formadas.

Macollos

El maíz está genéticamente capacitado para macollar. La selección secular del indígena, basada en la siembra a golpe en cuadros y la selección de las espigas más grandes, suprimió esa capacidad en la práctica. Durante mucho tiempo la presencia de macollos se consideró un carácter indeseable y por selección se mantuvo su eliminación. Sin embargo, es un carácter muy favorable en maíces forrajeros. Los macollos se originan de las yemas de los nudos subterráneos cuyos entrenudos no desarrollan. Normalmente

hay ocho a diez nudos subterráneos con una yema capaz de emitir un vástago que produce su propio sistema radicular.

El inconveniente que presentan es su aparición tardía y aún cuando produzcan espiga, la maduración es más retardada que la normal. Existe una predisposición genética al macollaje en algunos materiales y en el caso de líneas, son frecuentemente usadas como padre para no complicar el despanojado y asegurar una mayor disponibilidad de polen. La aparición de macollos se ve favorecida por las bajas temperaturas nocturnas, la disponibilidad de humedad y N y la baja densidad de siembra.

Hojas

Modificadas

- Cotiledón
- Coleóptilo
- Prófilo
- Brácteas
 - a) Chalas
 - b) Glumas
 - c) Glumelas

Normales

Hojas modificadas

El embrión está bastante desarrollado; se compone del coleóptilo, el escutelo, la radícula y la coleorriza. El escutelo es el cotiledón transformado en órgano absorbente, adosado al endosperma. Su epidermis abaxial es un epitelio secretor, segrega enzimas que solubilizan las sustancias de reserva, las absorbe y las transporta al embrión. El coleoptilo, que es la estructura que emerge inicialmente desde la semilla hacia arriba, se aproxima a la superficie del suelo a través de la elongación del mesocótilo. En el momento en que el ápice del coleoptilo recibe estímulos lumínicos, aún bajo la superficie del suelo, reanuda su crecimiento, elongando y produciendo la emergencia de las plántulas. Su carácter consistente y extremo aguzado, lo convierten en una estructura especializada para lograr la emergencia. Inmediatamente a continuación de que el coleoptilo aparece sobre el suelo, da paso a la hoja cotiledonar y a la primera hoja verdadera en rápida sucesión.

Los prófilos protegen las ramificaciones laterales, es decir la espiga, durante su desarrollo. Es una vaina, semejante al coleóptilo, formada por dos hojas plegadas por sus nervaduras centrales y unidas en sus bordes. Va protegiendo el crecimiento de la espiga entre la vaina de la hoja y el tallo.

Las chalas tienen una característica similar a la de las hojas normales; nacen de cada uno de los nudos que forman el pedúnculo que soporta la espiga, cuyos entrenudos no desarrollan. Normalmente queda reducida a la vaina de la hoja normal aunque a veces puede presentar, en su extremo, una lámina muy reducida. Las glumas constituyen las brácteas de la espiguillas y las glumelas (lemma y palea) las brácteas de la flor.

Hojas normales

Están constituidas por vaina, lígula, aurículas y lámina. Nacen de cada uno de los nudos aéreos, en forma alternada y disponiéndose en un ángulo de aproximadamente 110° respecto de la vaina. La vaina es hendida y sobrepuesta sobre sí misma en la parte inferior. Nace en el nudo y cubre todo ese entrenudo y parte del superior. Normalmente son pubescentes, si bien existen formas glabras. En la zona de unión vaina-lámina, llamada collar, se pueden encontrar unas pequeñas aurículas y en la zona interior, la lígula, membranosa, hialina y poco desarrollada (Figura 1.4).

Hay por lo menos tres factores que determinan ausencia de lígula (liguleless lg1, lg2, lg3) y esto va acompañado de carácter de hoja erecta. Esta característica permite un mejor aprovechamiento de la luz solar y por consiguiente una mayor actividad fotosintetizadora en mayores densidades del cultivo. La posición de las hojas ha sido estudiada en numerosos trabajos, alcanzándose resultados contradictorios en cuanto a sus posibilidades para obtener mayores rendimientos.

La lámina tiene de 60 a 90 cm de largo y de 7 a 9 cm de ancho. Es acintada, con los bordes ondulados más largos que la nervadura central, amarillenta y prominente, que tiene cordones de esclerénquima (girders=vigas) que la mantienen en posición más o menos erecta. Puede ser glabra o pubescente, con mayor número de estomas en la cara inferior (60.000 a 100.000.pulgada⁻² vs. 50.000. pulgada⁻² en la superior). En épocas de sequía, sin embargo, por la acción de células motoras, se encartucha hacia arriba para reducir la transpiración, por ser la cara que recibe el sol en forma directa. Normalmente es verde, pero hay factores genéticos que la influyen. Como ejemplos se pueden mencionar los siguientes caracteres: yellow stripe (ys) que produce estrías amarillas entre las nervaduras; japónica (j1 – j2) que produce estrías blancas en toda la planta; albescent (al) provoca albinismo. Se considera que para que la coloración sea normal, deben estar presentes no menos de 65 factores dominantes cuyos recesivos la modifican o alteran. La eficacia fotosintetizadora de las hojas ha sido profusamente estudiada y hay coincidencia en señalar la mayor eficiencia de las hojas superiores.



Figura 1.4. Planta de maíz. Fuente: propia (2014)



Figura 1.5. Panojas de maíz. Fuente: propia (2014)

Inflorescencia

Es una planta diclino monoica, con una inflorescencia terminal estaminada, la panoja o penacho y una pistilada, también terminal, pero en una ramificación lateral, la espiga o mazorca.

Panoja

Consta de un eje principal, continuación del eje del tallo, con un mínimo variable de ramificaciones laterales que se abren en forma espiralada. En la parte superior del eje central se disponen dos, cuatro y a veces más, hileras de pares de espiguillas bifloras y sólo dos hileras en las ramificaciones laterales (Fig.1.5). Las diferencias en tamaño de panoja, número y desarrollo de las ramificaciones, se pueden emplear en diferenciaciones sistemáticas.

De las 2 espiguillas que corresponden a las dos hileras de inserción, una es sésil y otra pedicelada, ambas de idéntica constitución. Cada espiguilla está definida por un par de glumas y en su interior hay dos flores, una superior y otra inferior, ambas con sus correspondientes glumelas: la inferior y externa, la lemma y la superior e interna, la palea. En la base de ellas se encuentran las glumélulas o lodículas, que por turgencia producen la apertura de las flores en antesis. En cada una de estas flores el androceo está representado por tres estambres bien desarrollados, de filamentos cortos, que se alargan considerablemente en la antesis y con anteras bilobadas, verdes o amarillentas o coloreadas cuando maduran (Aldrich & Leng, 1974). El gineceo se presenta como rudimentos que, en algunos casos y por la acción de ciertos genes, se puede desarrollar y producir grano. Esta anomalía se conoce como “tassel seed” (granos en panoja). Existen además, otras anomalías que se pueden producir en la panoja por acciones genéticas, tales como la macho esterilidad (ms) regida por varios factores y el carácter tunicado (Tu) que produce glumas y glumelas muy desarrolladas.

Espiga

Es la única ramificación lateral presente en el maíz (Fig. 1.6), que en número de uno a tres, desarrolla en una yema axilar del 6° al 8° nudo. La estructura de la ramificación lateral es semejante a la del tallo principal, pero queda limitada a un pedúnculo con nudo y entrenudos, estos últimos muy cortos. Desarrollan primariamente el prófalo, las chalas y el pedúnculo, que parece continuarse en un raquis engrosado que es el “marlo o maslo”, en el cual resulta difícil distinguir los entrenudos. El marlo tiene una parte central, la médula, blanca, rodeada por el tejido corchoso, que puede presentar coloración variable del blanco al violáceo oscuro. Sobre él se insertan las espiguillas, dispuestas de a pares, formando hileras, cuyo número varía entre dos y quince, aunque son muy raras las formas de dos y tres pares de hileras.

Las dos espiguillas de cada par son sésiles (a diferencia de lo que ocurre en la panoja) y nacen fuera de una cavidad o cúpula reducida, resto del ancestral teosinto cupulado, que en maíz actúa de soporte mecánico al grano. Ambas espiguillas son idénticas en su composición: son biflorales, pero en las dos, la flor inferior aborta, por lo que hay igual número de flores fértiles que de espiguillas. Como cada hilera lleva dos espiguillas, cualquiera sea su número, siempre es par el número de hileras de granos.

Las glumas y glumelas son cortas e iguales, presentándose normalmente como escamas. Esto no ocurre en *Zea mays* ssp. *mays* var. *tunicata* (maíz tunicado o vestido), ya que por la acción del gen “Tu” hay desarrollo de las mismas. Puede suceder que las flores inferiores de cada espiguilla no aborten. Cuando eso ocurre, se producen anomalías en la distribución de las hileras, que pierden regularidad. Estos granos supernumerarios se ubican, a diferencia de los normales, con la vara del germen mirando hacia la base de la espiga. Esta característica es frecuente en *Zea mays* ssp. *mays* var. *saccharata* (maíz dulce var. Country Gentleman).

Las flores fértiles están formadas por un gineceo, con ovario súpero y de paredes desiguales, ya que una de ellas, desarrolla mucho para formar el estilo y estigma. En general, se acepta que el estilo es muy corto –solo a la salida del ovario- y el resto de la barba, que pueden alcanzar 45 cm, es un estigma, receptivo en toda su longitud. La inserción del estilo puede dejar una cicatriz o pico o rostro, que es bien notoria en *Zea mays* ssp. *mays* var. *everta* (maíz pisingallo).

En el ovario, cuyos tegumentos van a formar el pericarpio de grano, se encuentra el óvulo con dos tegumentos en los que el interno o secundario, va a originar los tegumentos seminales: testa y tegmen. En el saco embrionario se encuentran la oófera, las sinérgidas, las polares y las antípodas. El número de flores fértiles en la espiga varía entre cuatrocientos y ochocientos.

Normalmente el androceo está abortado o rudimentario, pero puede llegar a desarrollar y producir generalmente en la punta de la espiga, un penacho de espiguillas masculinas (anther ear-an1).



Figura 1.6. Espigas de maíz. Fuente: propia (2014)

Antesis, polinización y fecundación

Lo normal es la protandria, si bien en los maíces “reventones” (*Zea mays* ssp. *mays* var. *microsperma*) o maíz perla, se suele presentar protoginia. Las primeras flores en madurar son las de la base del tercio superior del eje central de la panoja. Lo mismo ocurre en las ramificaciones laterales, en forma más o menos simultánea con el eje principal.

La salida del polen de una flor dura más o menos 5 h y en la panoja se mantiene más o menos 14 días, dependiendo fundamentalmente de las condiciones ambientales. En condiciones normales la viabilidad del polen es de más o menos 24 h. Cada antera produce más o menos 2500 granos de polen y una panoja entre veinte y treinta millones.

La fecundación es fundamentalmente anemófila. En días calmos el polen sólo alcanza a cubrir una distancia equivalente a la altura de la planta, pero con viento se traslada hasta más de 200 m, lo que debe ser tenido en cuenta para el aislamiento de los lotes de producción de semilla.

En la espiga las primeras flores en madurar son las de la base, existiendo una diferencia extrema de 7 días con las de la punta, si bien los estigmas aparecen en forma más o menos simultánea en el extremo superior de las chalas. Hay una diferencia de más o menos 5-7 días entre aparición de panoja y estigmas y de 2 a 3 entre estigmas y antesis. La receptividad de los estigmas se mantiene más o menos 14 días, lapso durante el cual

siguen creciendo si no son fecundados. Normalmente la fecundación es cruzada, aunque puede ocurrir hasta 5-10 % de la autofecundación.

Xenia

Es la manifestación en F0 de un carácter dominante del padre que se halla en forma recesiva en la madre de un híbrido. Se produce cuando madres con factores recesivos en caracteres de endosperma tales como su1, su2, wx, ae, o2 son fecundadas por un padre normal con caracteres dominantes determinando la formación de granos normales.

Maíz: composición química

Los principales componentes del grano de maíz son almidón, proteínas y lípidos. También están presentes pequeñas cantidades de fibras, azúcares minerales y vitaminas. El análisis aproximado sobre sustancia seca se presenta en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Composición química del grano de maíz

FRACCIÓN	PROMEDIO %
Almidón	72
Proteína	10
Lípidos	4,8
Fibra bruta	8,5
Azúcares	3
Cenizas	1,7

Almidón

El gránulo del almidón contiene dos clases de moléculas, amilosa y amilopectina. La proporción es aproximadamente 27% de amilosa y 73% de amilopectina. Ambas moléculas son polímeros de alto peso molecular compuestos de unidades de D-glucosa.

La subespecie ceratina, los maíces cerosos o "waxy", tiene un almidón que está constituido casi exclusivamente por amilopectina, lo que le da la apariencia opaca al endosperma.

Proteínas

Se clasifican de acuerdo a su solubilidad, siendo las prolaminas (solubles en etanol 70-80%) la fracción con mayor representatividad con el 54% del total.

Lípidos

Casi el 85% se encuentra en el embrión que es el origen comercial de los aceites de maíz. La composición de los aceites refinados es fundamentalmente triglicéridos de ácidos grasos. Los principales ácidos grasos son linoleico 59%, oleico 27% y palmítico 12%.

Pigmentos

Hay B carotenos (precursor de la vitamina A), luteínas y xantofilas. Son los que le dan la coloración a la grasa de la carne y la leche, a la yema de los huevos y la piel de los pollos.

Considerando diversos tipos de maíz, se han encontrado diferentes actividades de vitamina A por unidad del pigmento; en general, el contenido varía entre 0,05 a 7,5 UI/gr. El almacenaje provoca una disminución no sólo de la actividad vitamínica, sino también del contenido en caroteno. Así, al cabo de cuatro años, estos se pueden haber reducido a un 30-50% del contenido original.

Bibliografía

- Aldrich, S.R, Leng E.R (1974). *Producción moderna del Maíz*. J. Knoop Ed. Editorial Hemisferio Sur. 307pp.
- Aragón-Cuevas F., Taba S., Hernández Casillas J.M., Figueroa J de M, Serrano Altamirano V. & Castro García F.H. (2006). *Catálogo de Maíces Criollos de Oaxaca*. INIFAP-SAGARPA: Libro Técnico No. 6. Oaxaca, México. 344p.
- Doebley, J. (1990). *Molecular evidence and the evolution of maize*. *Economic Botany* 44: 6-27.
- Galinat W.C. (1988). *The origin of corn*. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy:1-31.
- Galinat W.C. (1995). *El origen del maíz: el grano de la humanidad - The origin of maize: grain of humanity*. *Economic Botany* 49: 3-12.
- Goodman M.M. (1988). *The history and evolution of maize*. *Plant Science* 7: 197-220.
- Harlan, J. R. & de Wet, J. M. J. (1971). *Towards a rational classification of cultivated plants*; *Taxon*. 20:509–517.
- Iltis H.H. (1983). *From teosinte to maize: the catastrophic sexual transmutation*. *Science* 222: 886-894.
- Mangelsdorf P.C. (1986). *The origin of corn*. *American Scientist* 255: 72-78.
- Maizar.(2015). Estadísticas maíz/sorgo. Disponible en:
<http://www.maizar.org.ar/estadisticas.php>. Último acceso: Junio 2015.
- Paliwal R.L. (2001). *Tipos de maíz. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- SIIA, (2015). *Sistema Integrado de Información Agropecuaria*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Diponible en:
http://www.sii.gov.ar/_apps/siia/estimaciones/estima2.php. Último acceso: Junio 2015.
- Sinobas J., Díaz, M. (1999). *Relaciones entre diferentes razas de maíz españolas y dos sintéticos americanos*. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetal* 14: 5-1.
- Sturtevant E. L. (1899). *Varieties of corn*. U.S. Off. Agr. Expt. Stat. Bull. 57. Washington D. C., 108 p.

- Vigouroux Y., Glaubitz J.C., Matsuoka Y., Goodman M.M., Sánchez G.J & Doebley J. (2008). *Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites*. American Journal of Botany 95:1240-1253.
- Wellhausen E.J., Roberts L.M., Hernández E. & Mangelsdorf P. (1987). *Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución*. Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo. 19 pp
- Wilkes H.G. & Goodman M.M. (1995). *Mystery and missing links: the origin of maize*. In: S. Taba, ed. Maize genetic resources: 1-6. Mexico, DF, CIMMYT.
- Wilkes H.G. (1979). *Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize*. Crop Improvement 6: 1-18.
- Wilkes H.G. (1985). *Teosinte: the closest relative of maize revisited*. Maydica 30:209-223.
- Wilkes H.G. (1989). *Maize: domestication, racial evolution and spread*. In Forage and farming. D.R. Harris & G.C. Hillman (eds). London, Unwin Hyman. 440-454.