



Generalidades del Cultivo del Maíz

Autores: Dr. C. Ramón López Fleites¹
MsC. Víctor Gil Díaz²

¹ Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias

² Centro de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agropecuarias

2011

© Ramón López Fleites, Víctor Gil Díaz, 2011
© Sobre la presente edición: Editorial Feijóo, 2011

Edición: Liset Ravelo Romero
Corrección: Estrella Pardo Rodríguez
Diagramación y cubierta: Claudia María Larrea Marin

ISBN 978-959-250-768-5



Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas
Carretera a Camajuaní km 5,5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

ÍNDICE

Resumen /3

Introducción /4

Capítulo 1. Importancia, origen y distribución /6

- 1.1. Importancia /6
 - 1.1.1. Utilización /7
- 1.2. Origen /9
- 1.3. Distribución /10

Capítulo 2. Botánica, composición química y valor nutritivo /11

- 2.1. Taxonomía /11
- 2.2. Tipos de maíz /11
- 2.3. Características de la planta /13
- 2.4. Requerimientos de suelo y clima /18
- 2.5. Composición química y valor nutritivo /19
 - 2.5.1. Composición química de las partes del grano /19
 - 2.5.2. Composición química general /21
 - 2.5.2.1. Almidón /21
 - 2.5.2.2. Proteínas /22

Capítulo 3. Recursos Fitogenéticos /24

- 3.1. Conservación de los Recursos Fitogenéticos /24
 - 3.1.1. Conservación *ex situ* /25
 - 3.1.2. Conservación *in situ* /26
 - 3.1.3. Manejo de la variabilidad por los agricultores /28
- 3.2. Variabilidad y diversificación /29
- 3.3. Mejora genética /30

Capítulo 4. El cultivo del maíz en Cuba /32

4.1. Variedades e híbridos comerciales /33

4.2. Aspectos de la tecnología para la producción del cultivo de maíz en Cuba
/34

Bibliografía /48

Currículo y datos de los autores /61

Resumen

De manera resumida se exponen algunos de los más interesantes aspectos relacionados con el cultivo del maíz; se realiza un detallado bosquejo de su origen, descubrimiento y diseminación por todo el mundo. Se presenta un análisis de su importancia a nivel global y para Cuba, puesto que constituye uno de los principales cultivos alimenticios en la actualidad. De igual manera, se analizan detalladamente los aspectos botánicos, fisiológicos y nutricionales relacionados con esta especie. Se presenta información minuciosa sobre la conservación y mejora de los recursos fitogenéticos, así como una guía para la producción de este cereal en nuestro país.

Introducción

Aproximadamente 140 millones de hectáreas de maíz se cultivan en el mundo. Los principales productores son: Estados Unidos, China y Brasil, seguidos por Argentina, Sudáfrica y la Comunidad Europea. Cerca de 96 millones de hectáreas se cultivan en países como China, Brasil, México e India, acumulando más del 50% del área total (Taba *et al.* 2004).

El maíz se cultiva en Cuba desde la época de los aborígenes y constituye un alimento básico en la nutrición humana, del ganado y las aves (Socorro y Martín, 1989).

En el año 2010 en nuestro país se cosecharon 225 002 hectáreas, con una producción de 324 500 toneladas, para un rendimiento promedio de 1.44 t.ha⁻¹ (ONE, 2011).

Es la planta más estudiada por el hombre, la de mayor diversidad, no sólo genética, sino también de usos. Este cereal ha evolucionado por selección natural, por la realizada por los agricultores-mejoradores durante miles de años y por los mejoradores profesionales en los últimos 150 años (Muñoz, 2003).

La amplia diversidad del maíz, se puede atribuir, entre otros factores, a la selección realizada por el hombre desde la domesticación de esta planta, así como a los numerosos nichos ecológicos y los efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones para determinar la adaptación de estas (Carballoso *et al.*, 2000).

Desde el punto de vista biológico, los procesos que generan y mantienen la diversidad genética del maíz son dinámicos (mutación, selección, recombinación, etc.) y están ligados a las necesidades a largo plazo de las poblaciones humanas en crecimiento y a sus cada vez mayores expectativas de vida (Wilkes, 1979).

La conservación de la diversidad debe estar basada en el mantenimiento de estos procesos, así como, en la preservación de las razas *per se*. Desde hace varios años atrás, se observa una variación continua en la diversidad, sobre todo en sus

caracteres cuantitativos; y la mayoría de las poblaciones representan combinaciones de razas (Ramos y Hernández, 1972).

Al igual que la mayoría de los cereales, tiene baja calidad y cantidad de proteína, y es particularmente deficiente en lisina y triptófano (Sansano, 2008), dos aminoácidos esenciales en la dieta de humanos y animales monogástricos (FAO, 1993); no obstante el maíz sigue siendo un alimento básico para millones de personas en Latinoamérica, África y parte de Asia (Gunaratna, 2007).

La mejora de la calidad proteica del maíz tiene sus orígenes en la evaluación de la variabilidad genética para el contenido de lisina y triptófano y en la biofortificación con dichos aminoácidos esenciales (Bressani, Arroyave y Scrimshaw, 1953; Bressani *et al.*, 1958 y 1963; Scrimshaw *et al.*, 1958; y Bressani *et al.*, 1960).

A inicios de la década de los años 60 del pasado siglo, fue detectada la mutación natural llamada *opaco-2* (*o2o2*), la cual provocó un cambio en la composición de las proteínas del endospermo del maíz, duplicando el contenido de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, incrementando por consiguiente, la calidad proteica y manteniéndose inalterable la cantidad de proteínas (Mertz, Bates y Nelson, 1964); sin embargo, la mutación *o2o2* tuvo efectos pleiotrópicos indeseables como bajos rendimientos, endospermo suave y de apariencia opaca y un incremento en la susceptibilidad a enfermedades y plagas de almacén.

Programas de mejoramiento genético convencionales, utilizando la mutación *o2o2*, después de diez años obtuvieron variedades de alta calidad proteica (VACP), con endospermo cristalino, buen comportamiento agronómico y tolerancia a plagas y enfermedades (Krivanek *et al.*, 2007).

En Cuba, existen seis razas de maíz (Criollo, Tusón, Canilla, Argentino, Amarillo Reventador y Dulce) con una alta diversidad morfoagronómica, la cual ha sido ampliamente estudiada (Fernández, 2009).

La realización de la presente monografía, tiene como objetivo brindar información resumida acerca de “Las generalidades del cultivo del maíz”, la cual puede ser de gran utilidad para los estudiantes de las Ciencias Agropecuarias, así como para los especialistas y profesionales de esta rama del saber.

Capítulo 1. Origen, distribución e importancia

La producción de cultivos de grano tiene un papel preponderante en la actividad agrícola mundial. Con el crecimiento de la población humana, la demanda por los cultivos de Cereales y Oleaginosos aumentó, llevándolos a ocupar la mayor parte de la superficie sembrada en las áreas más productivas del mundo (Satorre *et al.*, 2008).

1.1 Importancia

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres cereales (junto con el trigo y el arroz) más importantes del mundo. Actualmente se produce en 125 países y se encuentra entre los tres cultivos más sembrados en 75 de dichos países (FAOSTAT, 2010).

Según Taba *et al.* (2004), el uso primario del maíz es para la alimentación animal (78 %) y después para consumo humano (13 %), donde su aplicación es diversa. La versatilidad que tienen sus derivados es tal que pueden encontrarse en medicamentos como la aspirina y los antibióticos, en cosméticos, sopas y en un amplio rango de productos industriales.

En muchos países, tanto desarrollados como en desarrollo, es consumido cada vez más por el ser humano. Por ejemplo, el maíz es el cereal que más consumen las personas en África Subsahariana y América Latina. Se prevé que la demanda de maíz para consumo humano en los países en desarrollo incrementará cerca de 1,3 % al año hasta el 2020 (Ortiz *et al.* 2010). De aquí al 2050, la demanda de este grano en el mundo en desarrollo se duplicará y, para el 2025, es probable que se convierta en el cultivo de mayor producción a nivel mundial (Rosegrant *et al.*, 2010).

La importancia del maíz a nivel mundial, esta dada por los diversos usos que tienen las diferentes partes de la planta. Puede utilizarse para la alimentación humana y animal; en la industria para producir harinas, siropes, cereales, aceites y hasta para producir whisky (Dowswell *et al.*, 1996). Su follaje además es un excelente forraje para el ganado.

Cada día se descubren nuevos productos elaborados a partir del maíz; se ha comenzado a utilizar papel elaborado con maíz, en los países desarrollados se están

elaborando plásticos biodegradables a partir de almidón de maíz, más ecológicos que los plásticos industriales derivados del petróleo. A partir de estos plásticos, se están desarrollando telas de secado rápido para deportistas, discos compactos, computadoras, teléfonos celulares, frazadas, alfombras y envases de alimentos, entre otros. Actualmente se utiliza el maíz también para la obtención del etanol. Se asegura que ya hay más de 4 000 usos diferentes para los productos que se extraen del maíz (Krivanek *et al.*, 2007).

El almidón de maíz es el producto más importante del procesamiento húmedo, y se utiliza en numerosas aplicaciones alimenticias e industriales (Watson, 1988).

La extracción de almidón y aceite comprenden cerca del 70 % de los productos; el 30 % restante está principalmente en forma de fibras, sobre todo celulosa y hemicelulosa, las cuales en su mayoría son convertidas en alimento para animales. Tanto la molienda húmeda, como la seca, se utilizan para la producción de etanol y gasohol; cerca de un tercio del gasohol es producido por el proceso de molienda en seco y el resto por el proceso en húmedo. En ambos procesos, algo más del 70 % del producto bajo la forma de almidón, se usa para la producción de etanol y cerca del 11 % de celulosa, hemicelulosa, restos de almidón y azúcares van a suplementar alimentos animales. Las tusas del maíz y los restos de tallos secos no contienen almidón y no tienen mayor valor alimenticio, pero contienen celulosa y, por lo tanto, constituyen una fuente potencial para la producción de etanol (Elander y Russo, 1993).

Los productores de etanol a gran escala avalan que, con los precios actuales de los combustibles fósiles, la producción y el uso de etanol son viables, y que el maíz es el cultivo más adecuado. Los promotores del etanol, consideran que la clave está en el incremento del rendimiento (NCGA, 2007).

1.1.1 Utilización

Como ya se ha señalado anteriormente, el maíz tiene tres aplicaciones posibles: alimento, forraje y materia prima para la industria. Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como

por ejemplo: sémola de partículas de diferentes tamaños, sémola en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia variedad de alimentos; se debe notar que el maíz cultivado en la agricultura de subsistencia continúa siendo utilizado como cultivo alimentario básico (FAO, 1993).

En lo que respecta a su aplicación como forraje, en los países desarrollados más del 60 % de la producción se emplea para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años, aún en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos. Desde hace relativamente poco, el maíz «de elevada humedad» ha despertado gran interés como alimento para animales, debido a su menor costo y a su capacidad de mejorar la eficiencia de la transformación de los alimentos. Los subproductos de la molienda en seco y la cubierta seminal son el germen. El primero se utiliza para obtener aceite comestible de elevada calidad mientras que la cubierta seminal, o pericarpio, se emplea fundamentalmente como alimento, aunque en los últimos años ha despertado interés como fuente de fibra dietética (Seefoó *et al.*, 2010).

La molienda húmeda es un procedimiento que se utiliza fundamentalmente en la aplicación industrial del maíz, aunque el procedimiento de cocción en solución alcalina empleado para elaborar las tortillas (el pan fino y plano de México y otros países de América Central) también es una operación de molienda húmeda que sólo elimina el pericarpio (Bressani, 1992). La molienda húmeda produce almidón de maíz y subproductos entre los que figura el gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio, mientras que el germen de maíz elaborado para producir aceite da un subproducto, harina de germen, que se utiliza como pienso; ha habido algunos intentos de emplear dichos subproductos para el consumo humano en distintas mezclas y formulaciones alimenticias.

El aumento de los precios del petróleo ha impulsado la intensificación de las investigaciones sobre la fermentación del maíz para producir alcohol combustible, el cual tiene un uso muy difundido en algunas partes de los Estados Unidos. Con maíz fermentado se elaboran también algunas bebidas alcohólicas.

Por último, también tienen importancia las aplicaciones de los residuos de la planta de maíz, utilizados entre otras cosas, para la alimentación animal y como base para extraer diversos productos químicos de las panojas, como por ejemplo, furfural y xilosa. Estos residuos también tienen importancia como elementos para mejorar los suelos (FAO, 1993).

1.2 Origen

De acuerdo con Wilkes y Goodman (1995) el maíz surgió aproximadamente entre los años 8 000 y 600 A.N.E., en Mesoamérica, probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 Km. de la Ciudad de México. El ecosistema que dio lugar al maíz era de inviernos secos estacionales, en alternancia con las lluvias de verano y en una región montañosa, de cuevas empinadas y sobre roca caliza.

El maíz cultivado (*Zea mays* L. ssp. *mays*) tiene dos parientes cercanos: *Tripsacum* spp. y Teosinte. Aunque el *Tripsacum* spp. (arrocillo o maicillo) es morfológicamente muy diferente del maíz, está emparentado genéticamente con éste. Existe diversidad de *Tripsacum* en muchas partes de México y Guatemala, y en otros países del continente americano (Taba *et al.*, 2004; Wilkes, 2004). El Teosinte, una especie silvestre que es el pariente más cercano del maíz, crece *in situ* en México, Guatemala y Nicaragua.

Se cree que el maíz fue domesticado a partir del teosinte (= teocinte = teosintle = teozintle) (*Z. mays* ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley) en el sur de México, hace más de 6 000 años (Matsuoka *et al.* 2002). Existen pruebas arqueológicas recientes que indican que ya estaba presente en la región del río Balsas, cerca de Iguala en el estado de Guerrero, México, en el año 8700 A.N.E. (Piperno *et al.* 2009). El maíz evolucionó y se expandió a otras regiones de México y de América Central (Mesoamérica) (Piperno y Flannery, 2001; Webster *et al.*, 2005), de donde pasó a otras partes del mundo en un período de varios miles de años.

Está hipótesis es la más aceptada porque ambas entidades taxonómicas tienen 10 cromosomas en sus células gaméticas; los cromosomas son muy semejantes en longitud, posición del centrómero y se asocian en forma normal en la profase

meiótica; el cruzamiento entre el maíz y el teocinte ocurre con mucha frecuencia en forma natural, y los híbridos son fértiles en un porcentaje alto. Las diferencias que se observan en algunos órganos del teocinte, en relación con los del maíz cultivado, se deben a los efectos de la selección natural en la primera especie y a los de la selección artificial en la segunda (Miranda, 1966).

De acuerdo con lo planteado por Wilkes (1988), México es el centro primario de diversidad genética y la Zona Andina el secundario, donde el cultivo ha tenido una rápida evolución.

1.3 Distribución

El único cereal que se conocía en América antes de su descubrimiento era el maíz, a su vez absolutamente desconocido en el viejo mundo. El 5 de noviembre de 1492 dos españoles que exploraban la actual Isla de Cuba comunicaron a Colón el hallazgo de una clase de granos que los indígenas llamaban *mais* o *mahis*, el cual tenía un buen sabor, asado fresco, seco y hecho harina. Exploraciones posteriores a la de Colón demostraron que el maíz era cultivado por los indios casi en todas las partes del continente, desde el Canadá hasta la Patagonia, constituyendo el alimento básico de sus habitantes y contribuyendo después al afianzamiento de la colonización, pues sin maíz hubiera sido sumamente difícil a los europeos establecerse en el nuevo mundo (Guzmán, 1966; Socorro y Martín, 1989).

Según Galinat (1979), Colón llevó la semilla de regreso a España en su travesía de retorno en 1493. Devino en el más productivo de todos los cereales, su cultivo se diseminó rápidamente por todo el mundo alrededor de los años 1500 aproximadamente, siguiendo su tráfico la ruta Portugal. El maíz se extendió a las Islas Filipinas desde el Oeste, antes del arribo de Magallanes, procedentes del Este en 1521, y actualmente está perfectamente establecido como una planta alimenticia básica de uno y otro lado del mundo.

La planta del maíz posee características que le permiten adaptarse a distintas condiciones de crecimiento. Por eso, se ha adaptado y se ha producido en todos los continentes donde ha sido introducido y mejorado. La diversidad genética del maíz, que es una especie alógama, es muy extensa, lo cual lo hace muy útil para los

programas de Recursos Fitogenéticos. Las razas nativas de maíz muestran una significativa variación morfológica y polimorfismo genético considerable, y esto les permite ser sembradas en alturas que fluctúan desde el nivel del mar hasta 3 800 metros sobre este (Ortiz *et al.*, 2010).

Capítulo 2. Botánica, composición química y valor nutritivo

2.1 Taxonomía

En cuanto a su posición sistemática, el maíz, según la nomenclatura ofrecida por Linneo en 1737 en su libro “*Genera Plantarum*” se designa como *Zea mays*.

La ubicación taxonómica, según Acquah (2007), es la siguiente:

- Reino: *Plantae*.
- Subreino: *Tracheobionta*.
- Superdivisión: *Spermatophyta*.
- División: *Magnoliophyta*.
- Clase: *Liliopsida*.
- Subclase: *Commelinidae*.
- Orden: *Cyperales*.
- Familia: *Poaceae*.
- Género: *Zea*.
- Especie: *Zea mays* L.

2.2 Tipos de maíz

La primera clasificación del maíz se basó en la textura o estructura del endospermo y consideró siete tipos (Sturtevant, 1899), aún vigente en la actualidad:

- **Maíz tunicado:** *Zea mays tunicata* St., considerado como uno de los tipos más primitivos de los maíces cultivados. Se caracteriza por presentar cada grano envuelto en su propia bráctea. No tiene valor comercial.
- **Maíz reventón:** *Zea mays everta* St., caracterizado por presentar granos pequeños con endospermo cristalino, constituido preferentemente por almidón córneo. Es capaz de explotar cuando es sometido al calor formando las llamadas cotufas o palomitas.

- **Maíz cristalino:** *Zea mays indurata* St., se caracteriza por presentar granos con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con almidón en su mayoría córneo.
- **Maíz amiláceo:** *Zea mays amylacea* St., caracterizado por presentar granos con endospermo blando y amiláceo. En este grupo, el maíz “Blanco Gigante del Cuzco” o “Blanco Imperial”, legado del imperio incaico, causa admiración por el gran tamaño de su grano y alto rendimiento.
- **Maíz dentado:** *Zea mays indentata* St., se caracteriza por presentar granos con endospermo formado con almidón córneo cristalino, tanto exteriormente como en su interior. Están coronados en la parte superior con almidón suave, que en la madurez origina una depresión central superior debido a una mayor hidratación, dándole al grano la forma característica de diente.
- **Maíz dulce:** *Zea mays saccharata* St., los maíces de este grupo son dulces y se caracterizan por presentar un grano completamente arrugado cuando están maduros. Posee un gen recesivo (*su*) en el cromosoma 4, el cual impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón.
- **Maíz ceroso:** *Zea mays ceratina* Kul., se caracteriza por presentar aspecto ceroso en el endospermo. En este tipo de maíz el almidón está constituido por un 100% de amilopectina, lo que origina un almidón de característica gomosa parecido al de la yuca.

2.3 Características de la planta

La planta de maíz es anual, comúnmente con un ciclo de vida de 110 a 150 días en dependencia de la variedad y época.

Según Smith y Paliwal (1996), el ciclo del cultivo puede variar entre dos y tres meses, como en el caso de los maíces cultivados para el uso de las mazorcas verdes (tierno) y de las variedades extra-precoces a casi 14 meses, como en el caso de algunas variedades extra-tardías de las tierras altas.

El tallo puede alcanzar desde 1 m hasta 5 m, las raíces penetran hasta 2 m de profundidad y se extiende hasta cubrir la superficie de un círculo de 1,2 m de radio.

El maíz es una planta monoica, con flores masculinas y femeninas separadas, de polinización cruzada.

Es un cultivo muy exigente en cuanto a la intensidad de la luz.

El agua no debe escasear, sobre todo en los períodos de germinación, floración y llenado del grano.

En la planta de maíz se desarrollan 3 tipos de raíces:

- **Raíces seminales**, presentes en el embrión de la semilla y emitidas desde ella. Alimentan a la planta hasta el estado de 5-6 hojas en conjunto con las reservas de la semilla. Posteriormente van perdiendo su funcionalidad y se ven reemplazadas por las raíces adventicias.
- **Raíces adventicias**, verdadero sistema radicular que sustenta a la planta durante la mayor parte de su ciclo vegetativo. El sistema de aparición de las raíces adventicias está relacionado con el desarrollo de las hojas. El crecimiento radicular es débil al principio del período vegetativo, desarrollándose básicamente en las capas superiores del suelo y, posteriormente, creciendo en profundidad, sobre todo entre la formación del tallo y floración. Después de la floración, el crecimiento de las raíces adventicias es muy escaso, habiéndose alcanzado el máximo desarrollo.
- **Raíces de anclaje**, que aparecen sobre nudos aéreos en la base del tallo a partir del estado de 4 hojas, adoptando la forma de corona.

El crecimiento de raíces también está influenciado por la temperatura. Por debajo de 10 °C el crecimiento es muy débil, y alcanzará valores máximos con temperaturas en torno a 30 °C.



Figura 1

Detalle de las raíces seminales

Figura 2
Detalles de las raíces aéreas

La producción de materia seca por la planta de maíz es débil hasta el comienzo de la elongación del tallo. A partir de ese estado hay un incremento del peso seco de la planta, que se prolonga hasta poco después de la floración femenina, momento en el cual los órganos vegetativos aéreos alcanzan el máximo peso seco.

Durante la fase vegetativa se forma la yema apical, nudos, entrenudos, hojas y yemas axilares, las cuales evolucionarán de forma diferente según la posición de la planta.

Las yemas axilares situadas en la base del tallo, cuando se desarrollan, dan lugar a tallos hijos (hijuelos, chupones).

Las yemas axilares situadas en la zona media del tallo evolucionan para formar espigas (mazorcas). Pueden ser 4 ó 5 sobre cada planta, pero en condiciones normales de cultivo sólo una o dos terminarán su evolución dando lugar a una o dos mazorcas.

Durante la fase elongación del tallo-aparición de sedas (estilos) hay una relación estrecha entre clima y rendimiento. Para alcanzar un rendimiento normal las temperaturas deben de oscilar alrededor de los 24 °C (óptima entre 21 y 28 °C). Durante dicho periodo las necesidades hídricas de la planta son altas, por lo que un déficit hídrico en esta fase puede causar pérdidas importantes de rendimiento. Por eso es importante que en esta fase el maíz tenga a su disposición las necesidades hídricas y minerales que necesita. Asimismo, se insiste en la necesidad de que con los riegos que se efectúen no se produzcan encharcamientos prolongados.



Figura 3
Detalle de la extremidad
del tallo con la panícula



Figura 4.
Flor femenina fecundada.
Sedas tornando de color

La formación de la panícula (flor masculina) tiene lugar en la yema terminal, en la extremidad del tallo. La floración masculina puede durar de 5 a 10 días, en función de la variedad y condiciones del medio.

La floración femenina se inicia cuando las primeras sedas o estilos son visibles al exterior de las espatas. Se produce unos 5-8 días después de la floración masculina (según los ciclos).

Durante la floración (cuando la panoja está emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos), tanto una limitación de agua (dos o tres semanas antes y después de ella) como de elementos fertilizantes (sobre todo nitrógeno), tendrán efectos negativos sobre el rendimiento final. Temperaturas altas (normalmente mayores de 35 °C) durante la aparición de panículas y polinización pueden producir aborto de granos.

Una vez que concluye la fecundación (los estilos de la mazorca, sedas, cambian a color castaño), tras un periodo de letargo (de 2 a 3 semanas) variable según variedades y medio, el ritmo de formación de materia seca aumenta de nuevo, sobre todo en el grano (se incrementa la materia seca del grano).



Figura 5. Flores femeninas fecundadas (sedas marrones) y no fecundadas (sedas claras)

Fructificación: con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia la fructificación. Una vez realizada la fecundación los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados sedas, cambian de color, tomando un color castaño.

Transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece en ellos el embrión. Los granos se llenan de una sustancia lechosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón.



Figura 6. Plantas con mazorcas en fase de formación y llenado de los granos

La fase de llenado del grano se caracteriza por una disminución en el peso de tallos y hojas, y por un incremento rápido del peso seco del grano. Esto indica que una parte de la materia seca del grano (10 %) procede de la transferencia de órganos vegetativos (reservas), aunque la mayor parte de la materia seca del grano (90 %) procede directamente de la fotosíntesis (de las hojas activas) durante el periodo de llenado. Estos asimilados (sustancias ricas en azúcares) llegan al grano en forma de compuestos solubles en agua, desde la base del mismo a la extremidad distal. Esta acumulación comienza en el ápice del grano y progresa hacia su base, donde se encuentran los tejidos más húmedos.

La duración del periodo de formación del grano es aproximadamente de 50 días.

Durante el periodo de llenado del grano, éste va pasando por los siguientes estados (son indicativos):

- Estado lechoso (madurez lechosa): El grano adquiere su forma y dimensiones definitivas, es de color claro y su contenido es lechoso.
- Estado pastoso (madurez cerosa): El grano es aún amarillo pálido, se incide con la uña y su humedad es del 50-60 %. El contenido en materia seca de la planta es del 25 %, manteniéndose aún verdes las hojas y el tallo.
- Estado pastoso-duro (madurez cerosa avanzada): El grano adquiere una coloración más amarillenta, comienza a endurecerse pero todavía se ralla con la uña. Su humedad es del 45-50 %. El contenido en materia seca de la planta es del 30 %, comenzando a secarse las hojas y el tallo.
- Estado vítreo (madurez vítrea): El color del grano es amarillo, su dureza es alta (no se ralla con la uña) y su contenido en humedad es inferior al 40 %. El contenido en materia seca de la planta es del 35 %. Las hojas por debajo de la mazorca y el tallo están completamente secos.
- Madurez completa (madurez fisiológica): El grano tiene un color amarillo intenso y una consistencia dura, su humedad es inferior al 35 %. La materia seca de la planta es superior al 45 %, estando ya la planta completamente seca.

La madurez del grano de maíz se alcanza cuando cesan las transferencias de asimilados. En este momento las células de las placas nutricias se mueren. Los compuestos que ellas contienen se oxidan y se oscurecen para formar el “punto negro” (black layer). En ese momento los granos han alcanzado su peso definitivo y a partir de entonces perderán humedad. Se dice que se ha alcanzado la madurez fisiológica (porcentaje de humedad del grano aproximadamente 35 %).

Figura 7. Granos en estado pastoso



Figura 8. Madurez fisiológica



2.4 Requerimientos de suelo y clima

Requiere suelos con buen drenaje, profundos, de textura media, sin exceso de calcio y con un pH entre 6 y 7. No le son favorables los suelos arenosos ni arcillosos. El contenido de humedad del suelo debe estar entre el 70 y 75 % de la capacidad de campo.

El desarrollo óptimo lo alcanza entre 21 y 32 °C.

El maíz en los trópicos es cultivado en una gran diversidad de ambientes, mucho mayor que en las zonas templadas. Los sistemas de cultivo del maíz incluyen una amplia variedad de métodos de manejo agrícola, desde sistemas de monocultivo altamente intensivos, mecanizados y con altos niveles de insumos hasta los sistemas de subsistencia en pequeñas parcelas con bajos niveles de insumos, cultivado en asociación u otras formas, con otros cultivos y usando solo trabajo manual. Por lo tanto, las variedades de maíz que se usan en los trópicos, varían desde variedades con un alto desarrollo tecnológico, como híbridos simples, hasta variedades de polinización abierta o variedades de los agricultores y variedades primitivas (Smith y Paliwal, 1996).

2.5 Composición química y valor nutritivo

Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes, en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas (FAO, 1993).

2.5.1 Composición química de las partes del grano

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 %, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 %), celulosa (23 %) y lignina (0,1 %) (Burge y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 %), aproximadamente 8 % de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, (el 33 % como promedio), así como un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 %) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición

química de la capa de aleurona, elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19 %) y de fibra cruda. El endospermo aporta la mayor parte del nitrógeno, seguido por el germen y, en último lugar, por la cubierta seminal que presenta sólo cantidades reducidas, mientras que en el teocinte cerca del 92 % de las proteínas proceden del endospermo.

El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, el de proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo. A este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas (FAO, 1993).

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos (Weber, 1987). Cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, quienes consumen el grano sin elaborar, obtendrán menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero elaborado. Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. Por otro lado, el endospermo representa del 70 al 86 por ciento del peso del grano, y el germen del 7 % al 22 %. Así pues, si se analiza todo el grano el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada. No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano.

El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptófano, al igual que las proteínas de todo el grano. La

deficiencia de lisina, triptófano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe, Jason y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos (Bressani, 1992).

La calidad de las proteínas del germen es muy elevada en comparación con la de las del endospermo y claramente superior a la calidad proteínica del grano entero. La calidad de las proteínas del endospermo es inferior a la del grano entero, a causa de la mayor aportación de proteínas del germen. Estos datos son también importantes para las modalidades de elaboración del maíz para el consumo y por sus consecuencias para el estado nutricional de los consumidores.

2.5.2 Composición química general

La información de que se dispone sobre la composición química general del maíz es abundante y permite conocer que la variabilidad de cada uno de sus principales nutrientes es muy amplia. La variabilidad es tanto genética como ambiental y puede influir en la distribución ponderal y en la composición química específica del endospermo, el germen y la cáscara de los granos.

2.5.2.1 Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 % del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 % del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 % del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 % del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina. Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa (da), hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50 por ciento y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la

composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina (Boyer y Shannon, 1987).

2.5.2.2 Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y según Landry y Moureaux (1970; 1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas.

El Maíz aporta numerosos elementos nutritivos (proteínas, aceites, ácidos grasos, carbohidratos, vitaminas, minerales, etc.) y materiales energéticos. El 57 % de sus sales minerales son ácidas, por lo que tiene una acción ligeramente acidulante. Su contenido en celulosa, favorece el peristaltismo intestinal y modera la acción tiroidea (Krivanek *et al.*, 2007).

Como resultado de su contenido alto en grasas e hidratos de carbono, no es recomendable para las personas diabéticas ni obesas. Posee un valor nutritivo similar al de los otros cereales, aunque se diferencia de éstos en su elevado contenido en carotenos —ningún otro cereal los contiene— o provitaminas A, que se transforman en vitamina A en el organismo y se caracterizan por su alto poder antiinfeccioso y su condición beneficiosa para la vista (Gunaratna, 2007).

Los estudios realizados para evaluar el valor proteico del grano de maíz, han demostrado su baja calidad en comparación con proteínas de origen animal; sin embargo, esta relación es superior o similar a la de otros cereales (Bressani, 1972 y Sikka y Johari, 1979). La calidad nutricional de la proteína está definida por el contenido, disponibilidad y balance de aminoácidos. Las proteínas con contenido de aminoácidos cercano al punto óptimo de satisfacción de las necesidades animales son consideradas de alta calidad y aquellas que no se acercan a ese punto son catalogadas como proteínas de baja calidad (Jansen, 1978).

Los principales componentes del grano de maíz son proteínas, almidón, lípidos; y en menor proporción, fibras, azúcares, minerales y vitaminas (Sansano, 2008). Las

proteínas constituyen aproximadamente el 10 % del grano entero y están formadas por albúminas (3,2 %), globulinas (1,5 %), zeínas (47,2 %) y glutaminas (35,1 %) (Morales, 2002). La mayor cantidad de proteína se encuentra en el endospermo (75 a 85 %) (Huang y col. 2004).

El valor nutritivo bajo del maíz se debe a que el contenido proteínico del grano está representado principalmente por zeínas y glutelinas insolubles en alcohol, las cuales constituyen más del 50 % de la proteína total, siendo estos tipos de proteínas deficientes en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, que no se localizan abundantemente en las proteínas de origen vegetal; siendo más crítico en el caso de los cereales debido al elevado consumo diario de estos (Ortiz y Guerra, 1983 y Azevedo, Lancien y Lea, 2006).

La calidad del grano del maíz se puede medir por diversos métodos o procedimientos; desde observaciones visuales simples hasta ensayos de laboratorio más complicados (Zhao *et al.*, 2004).

En 1963 se descubrió el mutante de maíz *opaco-2* (*o2o2*) que produce un efecto en la composición de la proteína del maíz, aumentando el contenido de lisina y triptófano del endospermo (Paes y Bicudo, 1994). Las variedades que presentan este gen se caracterizan por presentar: textura blanda del endospermo y apariencia opaca del grano; mayor susceptibilidad a los hongos de la pudrición de la mazorca y a las plagas; mayor humedad del grano en el momento de la cosecha; pericarpio más grueso, baja germinación de la semilla y rendimientos más bajos (Morales, 2002 y Montaner, 2003).

Tras varios ciclos de selección, se desarrolló un híbrido de alta calidad proteica, con alto valor nutritivo, altos rendimientos y endospermo de textura dura. Como resultado se han obtenido varios híbridos de alta calidad proteica probados en diferentes países en desarrollo con buenos resultados.

El maíz de alta calidad proteica, además de ser un excelente producto para el consumo humano, en el ámbito forrajero aumenta los nutrientes en alimentos balanceados, dando como resultado, rendimientos altos e importantes ahorros en la producción de carne, huevo y leche (Vasal, 2000). Al comparar el maíz de alta

calidad proteica con el estándar, no se observan diferencias en cuanto a: sabor, rendimiento por hectárea y resistencia a plagas y enfermedades (Poehlman y Allen, 2003).

La proteína del maíz normal contiene alrededor de 0,16 % de lisina y 0,047 % de triptófano, mientras que los maíces de calidad proteica, contienen como promedio 0,31 % de lisina y 0,10 % de triptófano. Estos maíces han presentado rendimientos iguales o superiores a sus homólogos comerciales (De Groote *et al.*, 2006).

En el maíz, hay principalmente cuatro clases de proteínas: globulina, albúmina, prolamina (zeína) y luteína. La zeína es una proteína de baja calidad y constituye más de la mitad del contenido de proteínas del maíz estándar. La presencia del gen *opaque-2* aumenta el contenido de la fracción “no zeína” en el grano, la cual es rica en lisina y triptófano (Mendoza *et al.*, 2006).

El consumo del maíz de alta calidad proteica, comparado con variedades convencionales, aumenta en un 8 % la velocidad de crecimiento en la altura y en un 9 % la velocidad de crecimiento en el peso de los niños con problemas de desnutrición leve o moderada, por lo que el maíz ocupa un lugar significativo en su dieta alimenticia (Gunaratna, 2007).

Capítulo 3. Recursos Fitogenéticos

3.1 Conservación de los Recursos Fitogenéticos

Desde la aparición de la vida en la Tierra, el proceso evolutivo ha originado una enorme diversidad de especies e individuos que, mediante los procesos de selección permanente, se han adaptado a las diferentes condiciones ambientales. Esta variabilidad genética acumulada resulta esencial para el equilibrio del sistema natural y constituye lo que se denomina germoplasma del planeta (Bellon *et al.*, 2009).

Dentro de este conjunto, los recursos fitogenéticos comprenden la diversidad genética correspondiente al mundo vegetal, que se considera poseedora de un valor para el presente o el futuro. Bajo esta definición se incluyen las categorías siguientes: variedades de especies cultivadas, tanto tradicionales como comerciales; especies silvestres o asilvestradas afines a las cultivadas o con un valor actual o potencial; y materiales obtenidos en trabajos de mejora genética (Bellon *et al.*, 2009).

La mayoría de los recursos fitogenéticos de importancia para la alimentación y la agricultura, están situados fuera de los bancos de germoplasma *ex situ* y con frecuencia no sólo se conservan, sino que también se utilizan como fuente de alimentos e ingresos.

En muchos países, los agricultores conservan en la práctica la diversidad genética manteniendo variedades locales tradicionales (variedades obtenidas localmente). Los agricultores seleccionan las semillas en función de diversas características, cultivan las plantas y recogen y conservan las semillas para sembrarlas de nuevo. Dichas prácticas no se limitan a la simple conservación, sino que mejoran y obtienen nuevos recursos fitogenéticos. La única posibilidad real que tienen a menudo los agricultores se limita a mejorar y conservar sus propias variedades locales. Son más de 1 000 millones de personas las que viven en familias de agricultores, y la responsabilidad de la ordenación y mejoramiento de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura recae ahora en la propia familia (Bellon *et al.*, 2009).

Los métodos de conservación de los recursos fitogenéticos pueden clasificarse en dos grandes categorías: métodos de conservación *ex situ* y métodos de conservación *in situ* (Baena *et al.*, 2003).

3.1.1 Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ*, se refiere a la conservación de genes o genotipos de plantas fuera de su ambiente de ocurrencia natural, para su uso actual o futuro, y abarca un amplio espectro taxonómico. Sirve para proteger desde especies silvestres y formas regresivas, hasta especies cultivadas (Baena *et al.*, 2003).

A escala global, se han desarrollado diferentes estrategias para conservar los recursos fitogenéticos en bancos formales de genes *ex situ* y así contrarrestar la erosión genética. Estos forman parte de una red internacional que comprende también los bancos *in vitro* y los jardines botánicos (Demissie, 2000).

Se destaca entre estos centros, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con más de 25 000 accesiones de germoplasma de 64 países, y se preservan 329 clases de cultivares tradicionales, identificadas por razas o por nombres locales (CIMMYT, 2004 y CIMMYT, 2006).

Cuando se conserva en condiciones *ex situ*, se restringe a la capacidad de lo que estos bancos pueden almacenar y que además solo representa una porción de la diversidad genética existente, la que está aún más limitada si se considera que depende del tamaño de la muestra cuando se colecta *in situ*, lo que varía según el agricultor (IPGRI, 1998 y Moreno, 2007). Otra desventaja de esta conservación, es que se detienen los procesos evolutivos tales como la hibridación y la selección (natural o artificial) que ocurren normalmente *in situ*.

La diversidad genética preservada en los bancos de germoplasma, sin embargo, constituye una fuente potencial de genes útiles para programas de mejoramiento genético (Goodman, 1985; Rincon *et al.*, 1996 y 1997). A pesar de los diversos estudios realizados, todas las poblaciones de maíz de amplia base genética contenidas en los bancos de germoplasma, nunca han sido eficientemente utilizadas, por la falta de caracterización y evaluación, documentación e intercambio de germoplasma. En ello ha incidido evidentemente la escasez de recursos para realizar estos trabajos (Salhuana, 1988; Wellhausen, 1988 y Goodman, 1990). Sin embargo, el germoplasma caribeño almacenado provee alelos favorables para el rendimiento y

sus componentes, por lo que es de utilidad intercambiar esta diversidad genética en programas de mejoramiento (Geadelmann, 1984 y Hameed *et al.*, 1994).

3.1.2 Conservación *in situ*

Idealmente, la forma más apropiada de conservar una entidad biológica es dentro del ecosistema del que naturalmente forma parte. En la conservación *in situ* no sólo se preservan cada uno de los componentes del ecosistema sino también todas sus relaciones recíprocas y se permite la continuación de los procesos evolutivos de las plantas (IPGRI, 2000).

La conservación *in situ* de variedades locales, denominada actualmente conservación “en finca”, implicaría en un sentido estricto el cultivo de estos materiales en sus zonas de origen y con las técnicas tradicionales. En general, este tipo de conservación ha sido considerada problemática por su complejidad y costo, ya que, en principio, precisaría de constante supervisión y de incentivos a los agricultores para compensar los menores rendimientos de las variedades tradicionales. Sin embargo, en los últimos años, la conservación “en finca” está siendo objeto de atención creciente en el ámbito internacional, habiendo aumentado el número de proyectos e iniciativas para respaldar y fomentar la ordenación, conservación y mejora de los recursos fitogenéticos en explotaciones agrícolas (Sthapit y Jarvis, 2000).

Desde una perspectiva real, la conservación “en finca” de variedades locales es poco viable si no se realiza con un enfoque de utilización. En este sentido, el desarrollo de sistemas agrícolas sin grandes insumos, más respetuosos con el medio ambiente y más diversificados, revaloriza y preserva la diversidad genética contenida en los cultivares tradicionales, especialmente adaptados a este tipo de agricultura. Asimismo, las variedades locales pueden ofrecer características de calidad organoléptica en cuanto a diversidad de sabores, aromas, aspecto, etc., que son valoradas cada vez más positivamente, al menos en un sector de población dentro del mundo desarrollado (Sthapit y Jarvis, 2000).

La conservación *in situ* y *ex situ*, en sus diversas modalidades, deben considerarse como métodos complementarios y no excluyentes para lograr el objetivo común de preservar los recursos fitogenéticos (Altieri y Merrick, 1987 y Rice *et al.*, 2006).

Almekinders y Boef (2000) plantearon que existe una complementariedad y sostenibilidad de la conservación *in situ* y *ex situ*, y se basan en el hecho de que a través de muchos y repetidos procesos de selección y producción de semillas, los agricultores han desarrollado y dado forma a las variedades locales de cultivos. Por esa razón, la conservación en finca de los recursos genéticos vegetales y animales es sinónimo de conservación *in situ*. El mantenimiento de la diversidad genética en la finca o *in situ*, es una estrategia de conservación, complementaria a la conservación *ex situ* en bancos de genes, y su importancia está en el hecho de que el proceso de evolución puede continuar, mientras que la conservación *ex situ* representa una situación “congelada y estática” que detiene la evolución, pero que preserva el germoplasma contra los eventos extremos (Wood y Lenne, 1997 y Almekinders y Boef, 2000).

3.1.3 Manejo de la variabilidad por los agricultores

Pocas han sido las investigaciones que han ayudado a entender mejor los procesos de evolución dentro de los ecosistemas agrícolas tradicionales en las comunidades rurales. Las poblaciones tradicionales de maíz, igual que las poblaciones naturales, son objeto de migraciones y deriva genética. Ambas, junto a la selección natural y la realizada por los agricultores, han ocasionado la extinción local y/o los procesos de recolonización de variedades (Pressoir y Berthaud, 2004). Sin embargo, para tener una visión más completa de la dinámica de los sistemas agrícolas tradicionales, es imprescindible documentarse en las prácticas utilizadas por los agricultores y su impacto en el manejo de las variedades tradicionales.

Según Pressoir y Berthaud (2004), el manejo del cultivo a pequeña escala por parte de los agricultores, constituye la clave en la evolución del maíz y su diversidad. Las prácticas de cultivo, en el sentido más amplio, incluyen el manejo de numerosas poblaciones de maíz en una pequeña área por un solo agricultor, lo que ha propiciado la variabilidad existente en los sistemas de fincas tradicionales.

Una variedad o población tradicional de maíz, es definida por los agricultores en términos de las características de la mazorca; por tanto, seleccionan preferentemente el tipo de la mazorca que será luego mantenida a través de un proceso de selección conservacionista, sin tener en cuenta el considerable flujo de genes que se produce (Louette *et al.*, 1997 y Louette y Smale, 2000).

Muchos agricultores cultivan el maíz en Cuba de la misma forma que lo hacían las generaciones pasadas. Las semillas son obtenidas de las mazorcas seleccionadas por ellos en el ciclo anterior de cosecha, y así sucesivamente. Es evidente que la riqueza que poseen los agricultores en sus fincas, donde a través de generaciones se han mantenido sus variedades tradicionales con prácticas de producción y conservación de las semillas muy propias, es de vital importancia para el futuro del cultivo (Castiñeiras *et al.*, 1999). En ocasiones, obtienen la semilla de vecinos de la propia comunidad, lo cual coincide con la práctica de otros países (Smale *et al.*, 1999, 2001 y Pressoir y Berthaud, 2004).

Una de las mayores incógnitas en la evolución del maíz, es cómo explicar la extraordinaria diversidad morfológica y genética que existe entre los maíces tradicionales (Matsuoka *et al.* 2002). Esto es de interés para los investigadores y genetistas del cultivo, porque deben entender la evolución del cultivo para poder desarrollar futuros programas de mejoramiento. La conservación dentro de los sistemas agrícolas, implica necesariamente un constante cambio en las poblaciones de los cultivos, como resultado de los procesos de evolución de los mismos. Es por ello, que la conservación *in situ* es generalmente conocida como un proceso dinámico, que se encuentra en las manos de los agricultores (Perales *et al.*, 2003).

3.2 Variabilidad y diversificación

Todos los tipos de maíz pertenecen a la misma especie, pero el tamaño, la textura, la forma y el color de la mazorca y los granos, varían ampliamente de una raza a otra. Esta amplia diversidad es el resultado de siglos de selección, mutación e hibridación (Dowswell *et al.*, 1996). El desarrollo de las culturas de diferentes pueblos, sus migraciones, el descubrimiento del hemisferio oeste y el subsiguiente movimiento de

los europeos, son también importantes factores en la creación de la diversidad del germoplasma de maíz.

La polinización cruzada, acompañada de continuos intercambios de genes entre poblaciones, y el movimiento de las personas han creado *pools* adicionales de genes (Fernández, 2009). Las selecciones subsiguientes, tanto la natural como la artificial, desarrollaron un germoplasma que es diferente en su genotipo y fenotipo del germoplasma paternal original.

La variabilidad genética presente dentro y entre poblaciones de maíz ha sido reconocida como una de las más abundantes del reino vegetal. Mucha de esta variabilidad se debe a caracteres de herencia simple que han sido identificados a través del tiempo y que controlan características fenotípicas fácilmente visibles tales como colores, formas y estructuras. Por ello, se realiza selección masal en aquellas plantas que son más resistentes a virosis, condiciones climáticas, plagas y que desarrollen un buen porte, para cruzarse con otras plantas de maíz que aporten unas características determinadas de lo que se quiera conseguir como mejora de cultivo (Riccelli, 2000).

Bird (1980) establece la evolución del maíz, en un horizonte de 2 500 años, ligada a la historia cultural de Mesoamérica y Sudamérica, y propone la correlación de los estudios morfológicos y citogenéticos de las razas y complejos raciales del maíz con ciertos rasgos generales de las civilizaciones y grupos humanos en el continente, sin olvidar la compleja interacción de los primeros tipos de maíz y el teocinte en etapas tempranas de la diversificación de las razas, en las cuales podríamos suponer que la intervención humana fue menor.

3.3 Mejora genética

Las investigaciones realizadas sobre la genética y el mejoramiento del maíz desde principios del siglo veinte, han aumentado significativamente los rendimientos de grano en Estados Unidos y otros países de clima templado que producen maíz, y fomentando esa misma tendencia en las regiones tropicales y subtropicales donde se produce este cereal. Se estima que la producción mundial de maíz alcanza más de

800 millones de toneladas al año (FAOSTAT, 2010) y se plantea que seguirá creciendo en los años venideros.

La investigación del maíz ha avanzado de las razas nativas a las variedades, de éstas a los híbridos (simples, dobles y triples) y, más recientemente, a los híbridos transgénicos. Hacer uso eficaz de germoplasma, adaptado y exótico en los diversos ambientes de producción, es la clave para continuar incrementando los rendimientos de grano y mejorando características específicas para elaborar productos como forraje, aceite, proteína y almidón, entre otros. Se generan híbridos y variedades tolerantes al estrés, gracias a la diversidad genética acumulada en los complejos genéticos de los mejoradores. Los bancos de maíz *ex situ* tienen una función de apoyo en la producción de complejos que contienen diversidad genética única. Por ejemplo, en Estados Unidos se ha estado creando germoplasma nuevo y mejorado de maíz utilizando las accesiones de los bancos como parte del proyecto “Mejoramiento del germoplasma de maíz” (GEM, siglas en inglés), (Pollak, 2003).

Según Rehm y Espig (1991), el maíz es el cereal de mayores potenciales de rendimiento, que en condiciones óptimas de cultivo puede rendir hasta 20 t.ha⁻¹ de grano seco.

Los mayores resultados en la mejora genética del maíz están relacionados con la elevación de los potenciales de rendimiento, a partir de la obtención de híbridos comerciales. Sin embargo las tentativas de propagar su cultivo en los países subdesarrollados, se han visto frustradas por la necesidad de renovar las semillas híbridas cada año; habiendo quedado circunscriptos a las grandes transnacionales y a países industrializados.

Un factor importante que influye en la estimación del impacto del mejoramiento de maíz en una región determinada, es el relacionado con el uso de generaciones avanzadas de semilla mejorada, o lo que se conoce como reciclaje de semilla mejorada. Esto es importante especialmente en regiones donde el uso de semilla de variedades de polinización libre (VPL) es significativo, ya que las VPL, por su naturaleza, pueden considerarse todavía como semilla mejorada aún si se recicla la semilla por varios años. En el caso de los híbridos, es más difícil justificar el uso de

semilla reciclada como semilla mejorada, porque la identidad genética se pierde más rápidamente, especialmente cuando se trata de híbridos de cruza simples o triples (López, 1999).

Las crecientes necesidades de alimentos de la humanidad requieren de variedades cada vez más productivas. Pero estas variedades “élites” vienen acompañadas de paquetes de insumos carísimos y muchos de ellos agresivos al medio ambiente. Por otra parte, se han dejado a un lado marginadas o se han perdido irreversiblemente variedades o razas locales no tan productivas pero sí resistentes a plagas, o a condiciones climáticas de la zona donde evolucionó; pérdida que constituye un revés tremendo al perderse características genéticas que necesitaremos en un futuro. A esta pérdida de variabilidad se llama “erosión genética” y ha reducido peligrosamente la base genética de numerosos cultivos aumentando la vulnerabilidad ante cambios ambientales o a la aparición de nuevas plagas y enfermedades. Es innegable que con una población mundial creciente y subalimentada, se necesitan variedades mejoradas de plantas más productivas, pero tampoco se debe ignorar que en el afán por aumentar la producción se está quitando a la naturaleza el mecanismo de seguridad estratégica que ha poseído a lo largo de los tiempos: la diversidad genética (Carrillo y col. 2002).

Capítulo 4. El cultivo del maíz en Cuba

El cultivo del maíz en Cuba se justifica por la diversidad de usos a la que es destinado este cereal, más que por su rendimiento, ya que en Cuba las características climáticas se catalogan como no óptimas, aún teniendo en cuenta las dos épocas de siembra (González del Valle, 1941)

Tabla 1. Estadísticas del cultivo del maíz en Cuba en el año 2010

Variables	Total	Sector Estatal	Sector no Estatal
Superficie cosechada (ha)	225 002	8 167	216 835
Producción (t)	324 500	13 361	311 139
Rendimientos (t.ha⁻¹)	1.44	1.64	1.43

Fuente: ONE, 2011

En Cuba diversos factores han motivado que este cultivo no juegue un papel preponderante. No obstante, resulta de gran aceptación entre la población, dada la tradición que existe de su uso para consumo humano, así como elemento esencial de los concentrados empleados para la alimentación animal (Rabí y col. 2001).

Constituye el segundo cereal de importancia y es de alta preferencia de consumo por la población. Se cultiva en toda la isla, destacándose las provincias de las regiones central y oriental con mayores superficies de siembra. Se siembra principalmente maíz de grano amarillo (cristalino o dentado), para la alimentación humana en forma de elotes (mazorca en estado tierno) y en grano seco para consumo humano y animal (MINAG, 2004).

Hatheway (1957) plantea la existencia en Cuba de siete razas de maíz, las cuales se diferencian y clasifican principalmente por los caracteres de la mazorca (longitud, diámetro, número de hileras, forma, número de granos, tipo de granos, etc.), las mismas son: Maíz Criollo, Tusón, Argentino, Canilla, Blanco Reventador, Amarillo Reventador y Blanco Dentado. Dicho autor indicó que cinco de ellas estaban relacionadas con los tipos encontrados en México.

Actualmente en Cuba las variedades criollas y foráneas se encuentran utilizadas principalmente por parte de los productores e incorporadas a programas de mejoramiento genético del cultivo (Comisión Nacional de Recursos Genéticos, 2007), utilizándose principalmente métodos de mejoramiento como son la obtención de variedades sintéticas, híbridos, variedades de polinización abierta, etc., aunque últimamente se está utilizando la inducción de mutaciones y la transgénesis. De esta forma, se han obtenido variedades sintéticas y mejoradas mediante selección masal, así como híbridos dobles y triples (Comisión Nacional de Recursos Genéticos, 2007).

4.1 Variedades e híbridos comerciales

Tabla 2. Variedades e híbridos comerciales de maíz registrados en Cuba

Variedades			
1	AM-LHN06	13	Palenque
2	AM-LHA06	14	Perla Habanera
3	Canilla	15	Rojita de La Habana
4	DC-1	16	Rosita INIFAT
5	Felo	17	Sanjuanero
6	FR-Bt1	18	Spectral
7	FR-28	19	TGH
8	Francisco Mejorado	20	Tusón
9	Gibara	21	Vereda
10	INIVIT M-4	22	VST-5
11	P-7928	23	VST-6
12	Pajimaca	-	
Híbridos Simples			
1	HST-3236	3	HST-991
2	HST-881	4	HST-69
Híbridos Dobles			
1	HDT-311	3	HDT-66
2	HDT-444	-	

Fuente: MINAG 2011

4.2 Aspectos de la tecnología para la producción del cultivo de maíz en Cuba

Este acápite ha sido elaborado acorde a las recomendaciones expuestas por Rabí *et al.* (2001), MINAG (2010) y en base a la propia experiencia de los autores de la presente monografía.

4.2.1 Selección del área y tipos de suelo

Aunque el maíz se adapta a diferentes tipos de suelos, no son favorables, ni los muy arenosos ni los muy arcillosos. El mejor desarrollo se produce en los suelos de textura media, profundos, con buen drenaje, sin exceso de calcio y con PH de 6 a 7. De ser necesario utilizar un suelo arcilloso, la siembra debe realizarse en el período seco o de frío.

La principal función del suelo es proporcionar las condiciones óptimas a las semillas para beneficiar la germinación, la emergencia o brotación y el crecimiento de la planta hasta su estado adulto.

4.2.2 Preparación de suelo

La preparación de suelo para la siembra tiene como fin fundamental el crear un lecho adecuado para que la semilla pueda germinar y que posteriormente la plántula pueda desarrollarse correctamente.

Dicha preparación debe garantizar un suelo profundo con una capa mullida de 25 cm. Si se hace mecanizada utilizar preferentemente el multiarado y el tiller. En la preparación con tracción animal puede utilizarse el arado de vertedera y gradas de pincho. El tiempo entre las labores debe permitir que se descompongan los restos de la cosecha anterior y de la vegetación espontánea.

Entre los principales métodos de preparación del suelo están la labranza convencional, labranza mínima y labranza cero. El método a emplear juega un papel fundamental para lograr una buena siembra, sin embargo su elección está relacionada con el estado que presente el suelo al concluir el cultivo anterior, ya sea existencia de restos de cosecha, el tipo de maleza predominante y el nivel de infestación, el microrrelieve, la compactación de las capas inferiores, etc. Por ello no existe una “receta” universal, pues para cada área se necesita pensar cuáles son las

labores que permitirán alcanzar los mejores resultados. Por ejemplo, en las rotaciones de maíz que siguen al cultivo de la papa, en la mayoría de las ocasiones, es posible aplicar el laboreo mínimo.

4.2.3 Nutrición

4.2.3.1 Fertilización química tradicional

La presencia de los elementos nutritivos en las cantidades disponibles suficientes para el desarrollo de la planta, es condición primordial para un rendimiento óptimo de grano.

El maíz consume alrededor de 100 a 150 kg de N para producir unas 5 t.ha⁻¹ de grano. El ritmo de acumulación de N en la planta crece casi paralelo a la acumulación de materia seca. El consumo de N es intenso particularmente en el período de mayor crecimiento de las plantas, el que se produce desde que estas emiten la décima hoja hasta después de la fecundación y formación de los granos.

Según Rabí *et al.* (2001), cuando no se disponga de los diagnósticos agroquímicos de los suelos que serán sembrados con maíz, se emplearán las siguientes cantidades de nutrientes por hectárea:

- N (100- 150 kg.ha⁻¹), equivalente a 218,6- 327,9 kg/ha de urea.
- P₂O₅ (60- 100 kg.ha⁻¹), equivalente a 129,7- 216,1 kg/ha de Superfosfato triple.
- K₂O (100- 180 kg.ha⁻¹), equivalente a 216,1- 389,03 kg/ha de cloruro de potasio.
- Los niveles más altos de nitrógeno (150 kg.ha⁻¹) corresponderán a los suelos arenosos y los más bajos (100 kg.ha⁻¹) a los no calcáreos y latosolizados.
- Los niveles más altos de fósforo (100 kg.ha⁻¹) se aplicarán a los suelos latosolizados y los más bajos (60 kg.ha⁻¹) a los suelos arenosos y a los no calcáreos.

El nitrógeno es el elemento más importante para este cultivo en las condiciones de Cuba, debido a las pérdidas a que se encuentra sometido este nutriente en el trópico por volatilización, lavado y fijación por los microorganismos del suelo.

Todo ello determina que el nitrógeno ha de aplicarse en las dosis necesitadas por este cultivo, sus aplicaciones deben ser de forma localizada y tapada inmediatamente, procurando que las condiciones de humedad sean favorables.

Generalmente se recomienda aplicar $\frac{1}{3}$ del nitrógeno en siembra y $\frac{2}{3}$ a los 25-30 días de germinado el cultivo (tabla 3).

Tabla 3. Aplicaciones generales de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en el cultivo del maíz

En la siembra			A los 25- 30 días
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N
50	60	100	100

4.2.3.2 Fertilización foliar

Para un mayor rendimiento y calidad de la cosecha aplicar “Bayfolan Forte” en dosis de $2,0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, siempre sobre el follaje, logrando mojar todas las partes de la planta para su efectiva penetración por los estomas. Aporta macro y micro-elementos esenciales, auxinas y ácido indol acético, entre otros. Puede aplicarse junto con los insecticidas.

Se recomiendan hasta 3 aplicaciones durante el ciclo del cultivo, a los 15, 25 y 35 días de germinado, hasta el momento previo a la emisión de la inflorescencia.

4.2.3.3 Fertilización orgánica

Es recomendable el uso de fertilizantes orgánicos, con los que también se han obtenido buenos resultados en el cultivo del maíz, ya que son fuente de materia orgánica; entre los más usados se encuentran el estiércol vacuno, el humo de lombriz y el compost.

El uso de biofertilizantes como alternativa económica y ecológica para aumentar los rendimientos de los cultivos y obtener productos más saludables ya constituye una práctica agrícola común en Cuba y el mundo en general. En el Instituto Nacional de

Ciencias Agrícolas (INCA) se dispone de varios de éstos productos, entre los que se destacan para el tratamiento a las semillas (peletización) el *EcoMic* y el *AzoFert*, alcanzándose aumentos en los rendimientos del maíz de hasta el 50 % en tratamientos de coinoculación (Ruiz y col. , 1997; INCA, 2001).

4.2.4 Época de siembra

El cultivo del maíz en Cuba admite siembras durante todo el año, pero se prefieren hacer en las épocas de **primavera** (marzo a mayo) y de **invierno** (octubre a febrero); pero en la práctica se cubre un gran período de siembra comprendido entre del 5 de septiembre al 31 de mayo.

Lo tradicional es efectuar dos siembras en el año; **la primera** en los meses de **abril a mayo**, y **la segunda en septiembre**; de manera que las lluvias alrededor de los 50-60 días (floración) varían entre 400 y 175 mm, respectivamente para cada una de las siembras.

La época donde el cultivo alcanza su mayor potencial de rendimiento es en el invierno, ya que encuentra temperaturas de alrededor de 20 °C, adecuadas para el desarrollo fisiológico del maíz. Esta época presenta el inconveniente de tener largos períodos secos, por lo que se necesita contar con riego. En primavera, sin embargo, las lluvias erráticas, el rigor del clima y el aumento de las poblaciones de insectos, complican el manejo del cultivo. Se han obtenido diferencias de hasta 2 t.ha⁻¹ entre una y otra época.

Debe tenerse en cuenta los objetivos de la producción (para grano seco o maíz tierno). Para el caso de grano seco hay que considerar que la siembra se realice en un momento que garantice la cosecha en condiciones de baja humedad ambiental. La disponibilidad de riego determina también la selección de las fechas de siembra.

El período óptimo de siembra, para producir semilla, es del 15 de noviembre al 15 de diciembre.

4.2.5 Siembra

Para lograr densidades de población óptimas resulta casi imprescindible el empleo de sembradoras de precisión, preferiblemente neumáticas. Es importante lograr la distribución espacial adecuada, pues si la población resulta exagerada, aumenta la competencia entre plantas, y si no se logra la población recomendada para el genotipo de que se trate, perdemos luz, agua y nutrientes. En cualquiera de los dos casos no se alcanza el rendimiento esperado.

La distancia de siembra entre hileras (camellón) estará en función del tipo de recolección que se vaya a realizar; si es mecanizada se debe utilizar la que tiene la cosechadora, aunque las más utilizadas son las de 0.70 y 0.90 m entre hileras, y entre plantas varía de 20 a 35 cm. Diferentes combinaciones de estas distancias son utilizadas en Cuba para lograr marcos de siembra apropiados que promedien desde 36 000 a 50 000 semillas por hectárea, en dependencia de los objetivos y épocas de siembra, de las cuales aproximadamente solo un 90 % llega a formar plantas una vez concluido el proceso de brotación. De este total de plantas formadas, solamente alrededor del 95 % se logran al momento de la cosecha (tabla 4).

En otros países, con sistemas de agricultura intensiva, de altos insumos agrícolas y con la utilización de híbridos, se emplean densidades de siembra de 70 000 semillas por hectárea y más.

La profundidad de siembra en suelos arcillosos será de 4 a 6 cm y en los más ligeros de 5-7 cm.

La uniformidad en la profundidad de siembra y del tamaño de la semilla son de suma importancia para lograr una brotación uniforme, de forma que se eviten plantas atrasadas en el desarrollo.

4.2.6 Semilla

La semilla debe tener no menos del 97 % de pureza y un valor germinativo no inferior al 90 %, para lograr una población aceptable durante la brotación.

La cantidad de semilla requerida para sembrar una hectárea fluctúa entre 14 y 20 kg, en dependencia del marco de siembra a emplear y del tamaño de los granos del cultivar específico que se vaya a sembrar.

La semilla deberá estar tratada con los productos y dosis recomendados por Sanidad Vegetal.

Tabla 4. Especificaciones de las siembras según los objetivos y las épocas

Objetivos	Especificaciones	Épocas de Siembra	
		Abril - Mayo	Septiembre – Diciembre
Producción de Maíz Seco	- Densidad de siembra general	40 000 – 45 000 Sem.ha ⁻¹	45 000 – 50 000 Sem.ha ⁻¹
	- Marco de siembra (m) y densidad específica	0.70 x 0.32 (44 642 Sem.ha ⁻¹)	0.70 x 0.29 (49 261 Sem.ha ⁻¹)
		0.90 x 0.25 (44 444 Sem.ha ⁻¹)	0.90 x 0.23 (48 309 Sem.ha ⁻¹)
	- Población promedio a lograr después de la brotación	40 088 Plantas. ha ⁻¹	43 906 Plantas. ha ⁻¹
- Población promedio a lograr al momento de la cosecha	38 083 Plantas. ha ⁻¹	41 710 Plantas. ha ⁻¹	
Producción de Maíz Tierno	- Densidad de siembra general	36 000 – 41 000 Sem.ha ⁻¹	39 000 – 44 000 Sem.ha ⁻¹
	- Marco de siembra (m) y densidad específica	0.70 x 0.35 (40 816 Sem.ha ⁻¹)	0.70 x 0.33 (43 290 Sem.ha ⁻¹)
		0.90 x 0.28 (39 682 Sem.ha ⁻¹)	0.90 x 0.26 (42 735 Sem.ha ⁻¹)
	- Población promedio a lograr después de la brotación	36 224 Plantas. ha ⁻¹	38 710 Plantas. ha ⁻¹
- Población promedio a lograr al momento de la cosecha	34 412 Plantas. ha ⁻¹	36 774 Plantas. ha ⁻¹	

Leyenda:

Sem ⇒ Semillas. * Cálculos realizados en base a un 90 % de germinación de las semillas

4.2.7 Principales variedades e híbridos

Del total de variedades e híbridos comerciales registrados en Cuba (tabla 2), a continuación brindamos algunas características de los más utilizados en siembras de primavera e invierno.

Tabla 5. Características de algunas variedades e híbridos comerciales en siembras de primavera

Variedades e Híbridos en Primavera	Procedencia	Días a:			Rendimiento de Grano seco (t.ha ⁻¹) al 70 % del potencial
		Floración	Cosecha (tierno)	Cosecha (seco)	
Gibara	INIFAT	60	76	120	2,5
Francisco Mejorado	INIFAT	60	78	120	3,1
VST - 6	IIHLD	60	80	120	3,0
P - 7928	IIHLD	65	85	130	3,5
VST-5 (Rosita)	IIHLD	60	-	120	2,0
HDT – 66	IIHLD	60	80	130	3,8
HDT-444	IIHLD	60	70	120	3,9
HDT-311	IIHLD	60	70	120	4,1

Leyenda:

- INIFAT ⇒ Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”. Cuba
- IIHLD ⇒ Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”. Cuba

Tabla 6. Características de algunas variedades e híbridos comerciales en siembras de invierno

Variedades e Híbridos en Invierno	Procedencia	Días a:			Rendimiento de Grano seco (t.ha ⁻¹) al 70 % del potencial
		Floración	Cosecha (tierno)	Cosecha (seco)	
Gibara	INIFAT	65	80	130	3,5
Francisco Mejorado	INIFAT	62	80	130	4,2
VST - 6	IIHLD	65	85	130	4,6
P - 7928	IIHLD	70	90	140	4,7
VST-5 (Rosita)	IIHLD	62	-	130	2,5
HDT – 66	IIHLD	67	85	135	5,2
HDT-444	IIHLD	65	75	130	5,3
HDT-311	IIHLD	65	75	130	5,5

Tabla 7. Otras variedades e híbridos (Siembra de Invierno)

Variedades e Híbridos	Rendimiento de Grano seco (t.ha ⁻¹) al 70 % del potencial	Procedencia
FR-28	4,5	IIHLD
FR-Bt1	4,5	IIHLD-CIGB
Palenque	4,0	IIHLD
Tusón	5,0	IIHLD
HST-881	6,3	IIHLD
HST -3236	6,7	IIHLD
HST -991	6,7	IIHLD

Leyenda:

- CIGB ⇒ Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. Cuba

La variedad FR-Bt1, es una variedad transgénica obtenida en colaboración entre el CIGB y el IIHLD en el pasado quinquenio. Para su obtención fueron realizados cruzamientos entre la variedad cubana FR-28 y algunos híbridos transgénicos norteamericanos que expresan genes sintéticos del tipo Cry-I, provenientes en su forma natural del Bt (*Bacillus thuringiensis*); así como genes para la resistencia al herbicida comercial “Finale”. Esta nueva variedad mantiene las buenas características agronómicas de la FR-28, y además tiene una alta resistencia a *Spodoptera frugiperda* (Smith)(*Lepidoptera, Noctuidae*) (palomilla del maíz) como al herbicida Finale.

4.2.8 Riego

Para que se produzca una buena cosecha es requisito indispensable que exista en el suelo humedad que satisfaga las necesidades de la planta. El cultivo del maíz no está entre los de mayor demanda hídrica, pero todas las especies poseen períodos críticos de demanda en los cuales la falta de humedad suficiente puede causar daños irreparables al rendimiento y/o calidad del grano o semilla.

El maíz requiere de 3 600 a 5 000 m³ de agua por hectárea para todo su ciclo biológico. Las necesidades hídricas varían según el subperíodo o fases de desarrollo (tabla 8).

Tabla 8. Volumen de agua a aplicar en cada fase fenológica del cultivo

No.	Subperíodos o fases de mayor necesidad de agua	Días	Necesidad de Agua (m ³ .ha ⁻¹)
1	Germinación, brotación y establecimiento (crecimiento vegetativo)	1-50	1 600 a 2 000
2	Floración y formación de los granos	50-70	1 400 a 1 750
3	Llenado o crecimiento (desarrollo) de los granos	70-100	600 a 1 250

El período crítico a un déficit de humedad está comprendido entre la paniculación y la formación de la cabellera de la mazorca.

Para realizar una adecuada planificación de los riegos es necesario tener en cuenta las condiciones climáticas y tipos de suelos específicos, así como las precipitaciones que ocurran en la etapa precedente a la siembra y durante el ciclo del cultivo. No obstante, se deben planificar los recursos necesarios para realizar un primer riego que garantice la germinación (160 a $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), y para otros 12 riegos a partir de la brotación:

- Hasta los 25 a 30 días: 3 riegos (cada uno de 160 a $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), cada 6 a 10 días.
- Entre los 25 y 30 días siguientes (hasta el inicio de la floración): 3 riegos (cada uno de 200 a $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), cada 6 a 10 días.
- Entre los 25 y 30 días siguientes (floración - formación de los granos): 4 riegos (cada uno de 400 a $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), cada 6 a 8 días.
- Entre los 20 y 25 días siguientes (desde la formación de los granos hasta el estado ceroso): 2 riegos (cada uno de 400 a $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), cada 10 a 12 días.

Las profundidades de humedecimiento serán de 30- 40 cm hasta la floración y de 60 cm después que haya iniciado esta, siempre que las características físicas del suelo lo permitan, para de esta forma lograr una capacidad de campo superior al 85 %.

4.2.9 Malezas y su control

Los objetivos fundamentales de las atenciones de cultivo o labores culturales son, entre otros, el control de plantas indeseables antes de que establezcan competencia y provoquen daños irreversibles a las plantas de maíz. Es necesario que el campo cierre completamente limpio.

La estrategia a seguir para realizar las principales labores culturales y cumplir sus objetivos, permite emplear las más diversas variantes tecnológicas, desde la manual hasta la totalmente mecanizada y las combinaciones entre ellas.

En áreas pequeñas, donde el campesino no cuenta con productos químicos (herbicidas), es necesario apoyar el control de malezas con las siguientes labores:

- Tres cultivos antes de los 60 días (uno de ellos para incorporar la fertilización nitrogenada); tratando siempre de aporcar las plantas.

- Dos guataqueas en la hilera.

Se ha establecido que el tiempo crítico de competencia de las malezas con el maíz es durante los primeros 30 días; las semillas de plantas indeseables que germinan después que el maíz ha completado su fase inicial de crecimiento (a los 30- 35 días) tienen un efecto muy insignificante sobre el rendimiento.

Cuando se aplique herbicida y no se observe deficiencia de fósforo, solamente se hará una labor de aporque a los 25-30 días si el control de este ha sido efectivo en los suelos sueltos. Si el suelo se ha compactado, a los 12-15 días después de la brotación del maíz se le dará una labor de cultivo con vistas a aflojar la capa endurecida.

Si se aplica el herbicida en bandas, se darán las labores de cultivo necesarias para mantener limpia la parte no tratada, evitando no mover el suelo de la parte tratada.

Tabla 9. Algunos herbicidas para el control de malezas usualmente utilizados en Cuba

Herbicidas	Tratamientos	Dosis
Gesaprim (atrazina)	- Selectivo para el maíz, no lo afecta. - Aplicar al suelo inmediatamente después del riego de germinación del maíz (postsiembra); en preemergencia de las malezas monocotiledóneas y dicotiledóneas anuales	3,2 - 5,0 kg ia.ha ⁻¹ (2-3 Kg PC. ha ⁻¹)
Gramoxone (paraquat)	- Aplicar en presiembra del maíz y post-emergencia de las malezas monocotiledóneas y dicotiledóneas anuales	0,2-0,7 kg ia.ha ⁻¹ (1 L PC. ha ⁻¹)
Reglone (diquat)	- Aplicar en presiembra del maíz y post-emergencia de las malezas monocotiledóneas y dicotiledóneas anuales	0,2 - 0,6 kg ia.ha ⁻¹ (1 L PC. ha ⁻¹)
Finale (glufosinato)	- En el caso de la variedad de maíz transgénico FR-Bt1 (resistente a este herbicida), aplicarlo a los 15-20 días posteriores a la siembra, para tratamiento	2 L PC. ha ⁻¹

amonio)	de post-emergencia de las malezas	
---------	-----------------------------------	--

Leyenda:

- ia: ingrediente activo
- PC: Producto Comercial

4.2.10 Plagas y enfermedades

Al maíz lo atacan más de 36 especies de insectos, algunas son de suma importancia por la frecuencia con que inciden y la gravedad de los daños que provocan.

La principal plaga de insectos del maíz en Cuba es la “Palomilla o cogollero” (*Spodoptera frugiperda* (Smith)), la cual comienza sus ataques cuando aparecen las primeras hojas, afectando a veces los tallitos en su base a ras de tierra.

Además, existe otro grupo de insectos a los que se considera vectores de los virus del maíz, infectando la planta al extraer la savia. Estos pequeños insectos saltahojas, o mosquitas, se encuentran principalmente entre las vainas de las hojas del tallo y el cogollo; la población de estos insectos es alta durante todo el año.

También se encuentran las plagas de almacén, cuya infestación inicial sucede en el campo y será mayor y más probable en la medida que retrasamos el momento de la cosecha.

Las **plagas** de mayor importancia son las siguientes:

- Palomilla del maíz: *Spodoptera frugiperda* (Smith).
- Gusano de la mazorca: *Heliothis zea* Bod.
- Bórer del maíz: *Diatraea lineolata* Walk.
- Salta hojas fulgórico del maíz: *Peregrinus maidis* Ashm.
- Gorgojo del maíz: *Sitophilus granarius* L.
- Gorgojo del arroz: *Sitophilus oryzae* L.

El control de insectos puede hacerse a través de un manejo integrado de plagas (MIP) que incluye:

- Variedades resistentes.
- Métodos culturales (fecha de siembra, rotación de cultivos, eliminación de residuos de cosecha, eliminación de las malezas dentro del cultivo y en las proximidades de este, evitación de la colindancia, densidad adecuada de siembra).
- Controles biológicos (parásitos, depredadores, bioplaguicidas).
- Monitoreo de la plaga y sus daños.
- Uso de insecticidas (naturales y sintéticos).

Estrategia de control de *Spodoptera frugiperda* (Smith) propuesta por el Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal

- Liberación de *Telenomus spp.* para el control de los huevos.
- Utilización de *Bacillus thuringiensis* (cepa LBT-24) en tratamientos sistemáticos hasta el cierre total del campo.
- Liberación del *Tetranychus spp.* ante la presencia de pupas.
- Si resulta necesario, aplicar fórmula duplex, moteándola en el cogollo de las plantas de maíz.

Tabla 10. Control químico tradicionalmente utilizado en Cuba ante las principales plagas del maíz

Plagas	Control	Recomendaciones
Salta hojas	- Tamaron 60 % EC 1,5 L. ha ⁻¹ . 3 aplicaciones. - Karate 2,5 % EC 0,5 L. ha ⁻¹ . 3 aplicaciones.	Usar en forma y tiempo uno de estos dos productos.
Cogollero o palomilla	- Fórmula Duplex PH 10 kg. ha ⁻¹ . 2 aplicaciones o más si son necesarias. Mezclar con arena de río o tierra, fina al 50 %.	Aplicar manualmente 1 gramo por planta, exactamente en el centro del cogollo cuando este no contenga humedad, haciendo 2 aplicaciones o más si son necesarias.

Gorgojos	Pastillas de fosfatina.	Cuando el maíz se encuentra almacenado en silos metálicos o locales herméticamente cerrados.
----------	-------------------------	--

4.2.11 Cosecha y Beneficio (post-cosecha)

Definir el momento óptimo de cosecha resulta decisivo para garantizar la calidad del grano y reducir las pérdidas por desgrane, ataques de hongos, ataques de plagas, partiduras o aplastamiento durante la trilla.

La cosecha puede ser manual, semimecanizada y mecanizada. La cosecha para grano se realizará cuando este tenga entre 16 y 30 % de humedad (108-140 días, según época de siembra, variedad y método de cosecha).

La cosecha manual puede realizarse cuando la humedad del grano en el campo es del 30 % o inferior. Las mazorcas cosechadas, inmediatamente se deben despajar manualmente y rápidamente secarlas al sol o en el secador de la planta de beneficio, hasta el 20 % de humedad, para su posterior desgrane. El proceso continúa con el secado del grano hasta alcanzar el 13 % de humedad; posteriormente se procede a la limpieza, clasificación, tratamiento y almacenamiento.

Cuando la cosecha es semimecanizada (recogida manual de las mazorcas e inmediatamente pasadas por una trilladora mecánica en el propio campo para ser despajadas y desgranadas) o totalmente mecanizada (con combinadas), el grano de maíz debe tener una humedad entre el 16 y 20 %. Posteriormente la humedad de los mismos se disminuye al 13 %, al sol o en el secador de la planta de beneficio; luego se procede a la limpieza, clasificación, tratamiento y almacenamiento.

La trilla con humedad inferior al 16 % puede ocasionar un alto porcentaje de granos partidos o con microfracturas internas, reduciendo el rendimiento; una trilla con humedad superior al 20 % también puede provocar serios problemas.

El beneficio del grano recolectado, por cualquiera de los métodos señalados, sella los resultados de 5-6 meses de trabajo y una inversión considerable de recursos técnicos, materiales, humanos y económicos; por lo tanto, el proceso de secado se

iniciará antes de las 24 horas de haber cosechado, lo cual evita la rápida proliferación de microorganismos patógenos y causantes de pudriciones. Se requiere de una extrema eficiencia para secar el grano de maíz hasta obtener un contenido de humedad de 13 %.

Si la cosecha es para consumo tierno, esta se realizará de forma manual y preferiblemente en horas tempranas de la mañana, aunque puede hacerse durante todo el día. La mazorca cosechada no debe quedar expuesta al sol más de 24 horas sin distribuir a los consumidores, ya que el calor y los largos períodos de almacenamientos alteran la composición del grano y el maíz se torna amargo, ácido o agrio. Si no es consumido en este corto período, las mazorcas se deben despajar y airearlas para evitar el ataque de microorganismos.

Requerimientos para la post-cosecha

- Planta de beneficio, limpieza y secado.
- Medios de transportación para llevar el maíz en grano desde las áreas de producción a la planta de secado.
- Organización y funcionamiento de esta actividad con la máxima calidad.
- Envases necesarios.
- Sitio para el almacenamiento.
- Control de plagas en el almacenaje.

4.2.12 Requisitos adicionales para la producción de semilla

- En el lote a utilizar la siembra precedente no debió ser maíz.
- Buena accesibilidad al área.
- Productores con experiencia o capacitados.
- Aislamiento con otros maíces: distancia no menor de 400 a 500 metros; o siembras con 20 a 25 días de diferencia entre sí.
- Realizar selecciones negativas (las necesarias).

Bibliografía

- Acquaah, G., 2007. "Breeding Corn". En: Principles of plant genetics and breeding. Edit. Blackwell Publishing. pp. 485-497.
- Almekinders, C. y Boef, W. El reto de la colaboración en el manejo de la diversidad genética de los cultivos. LEISA. Abril 2000, volumen 15. pp 5-8., 2000.
- Altieri, M.A., and Merrick, L.C. *In situ* conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Econ. Bot.* 41:86-96., 1987.
- Azevedo, R., Lancien, M., y Lea, P. (2006). The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. *Amino Acids*, 30, pp. 143-162.
- Baena, M., Jaramillo S. y Montoya, J. E. Material de apoyo a la capacitación en conservación *in situ* de la diversidad vegetal en áreas protegidas y en fincas. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. ISBN 92-9043-600-X, 2003.
- Bird, R. (1980). Maize Evolution from 500 BC to the present. *Biotropica*, 12 (1), 30-41.
- Boyer, C.D. y Shannon, J.C. 1987. Carbohydrates of the kernel. En S.A. Watson y P. E. Ramstad, eds. Corn : chemistry and technology, p. 253-272. St Paul, Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Bressani, R., Arroyave, G., y Scrimshaw, N. S., 1953. The nutritive value of Central American corns. I. Nitrogen, ether extract, crude fiber and minerals of twenty-four varieties in Guatemala. *Food Research*, 18, 261-267.
- Bressani, R., Scrimshaw, N. S., Behar, M., y Viteri, F., 1958. Supplementation of cereal proteins with amino acids. II. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at intermediate levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. *Journal of Nutrition* (66), 501-513.
- Bressani, R., Elías, L. G., Santos, M., Navarrete, D., y Scrimshaw, N. S., 1960. El contenido de nitrógeno y de aminoácidos esenciales de diversas selecciones de maíz. *Archivos Venezolanos de Nutrición*, 10, 85-100.
- Bressani, R., Wilson, D. L., Behar, M., Chung, M., y Scrimshaw, N. S., 1963. Supplementation of cereal proteins with amino acids. V. Effect of supplementing lime-treated corn with different levels of lysine, tryptophan and isoleucine on the nitrogen retention of young children. *Journal of Nutrition* , 80.

- Bressani, R. (1972). El valor nutricional del arroz en comparación con el de otros cereales en la dieta humana de América Latina. INCAP.
- Bressani, R. (1992). Nutritional value of high-lysine maize in humans. In E.T. Mertz (ed.). *Quality Protein Maize. American Association of Cereal Chemists* .
- Burge, R.M. y Duensing, W.J. 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World* 34: 535-538.
- Carballoso, V., Mejía, A., Valderrama, S., Carballo, A., y González, F., 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de valles Altos de México. *Agrociencia*. 34 (2), 167-174.
- Carrillo, O., E. Zaldívar, M. Lantero, A. Leiva, M. Carrión, I. González, M. Vázquez, V. Figueroa, J. Lamas, T. Bilbao, I. García y S. Fuentes, 2002. Los vegetales en la nutrición humana. 64 pp. Editora Política, La Habana.
- Castiñeiras, L., Shagarodsky, T., Fundora, Z, Fuentes, V, Fernández, L., Moreno, V., González, A. V., Alonso, J. L., Orellana, R., Robaina, R., Cristóbal, R., Sánchez, P., García, M., Valiente, A. y Giraudy, C. Informe Anual del Proyecto Global “Contribución de los huertos caseros a la conservación *in situ* de recursos fitogenéticos en sistemas de agricultura tradicional”. INIFAT-MINAGRI, Dic/1998-Nov./1999, 1999.
- CIMMYT., CD ROM, 2004 CIMMYT Maize Germplasm Network Meeting. Global Maize Genetic Resources Conservation: A workshop and Conservation, management, and Networking. 2-5 may 2006, CIMMYT, El Batán; México. México D.F.: CIMMYT, 2006.
- CIMMYT. Curso de Producción de Semillas de maíz de alta calidad con énfasis en QPM. Septiembre 6-14, 2004. El Batán; México. México D.F.
- Comisión Nacional de Recursos Genéticos. Cuba: Informe Nacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA). Edición 2007. La Habana, Cuba.
- De Groote, H., Gunaratna, N., Krivanek, A. F., y Friesen, D. (2006). Recent advance in the development, uptake and impact assessment of quality protein maize (QPM). *Symposium on “New Technology Development to Reduce Hunger in Sub-Saharan*

- Africa*". Gold Coast, Queensland, Australia: 26th Conference of the International Association of Agricultural Economists (IAAE).
- Demissie, A. Conservación *in situ*: la experiencia etíope, en LEISA. Abril 2000, volumen 15. Pp 30-31, 2000.
- Dowswell, C. R.; Paliwal, R.L. and Cantrell, R. P. Maize in Third World Ed. Westview 268 p, 1996
- Elander, R.T. and Russo, L.J. Production of ethanol from corn fiber. Paper presented at the 1st Biomass Conf. of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry, Burlington, VT, USA, 1993.
- FAO, 1993. El maíz en la nutrición humana (N° 25 ed.). Roma: Colección FAO: Alimentación y nutrición.
- FAOSTAT, 2010. [homepage] [online] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Fecha de Acceso: Abril 2010.
- Fernández, L., 2009. Identificación de razas de maíz (*zea mays L.*) presentes en el germoplasma cubano. La Habana: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. INIFAT.
- Galinat, C.W., 1979. Botany and origen of maize. CIBA-Gegy. Agrochemicals Technical monograph. Basilea. Suiza. pp. 6-12.
- Geadelmann, J. L. Using exotic germplasm to improve northern corn. pp. 98-110. In Wilkinson y R. Brown (ed.) Proc. 39th Annu. Corn and Sorghum Res. Conf. Chicago, IL. 5-6 Dec. 1984 Am. Seed Trade Assoc. Washington, D. C., 1984
- González del Valle, C. Estudios genéticos sobre el maíz. La producción de líneas homogéneas. Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey" 15(3): 307-318., 1941.
- Goodman, M. M. Exotic maize germplasm: status, prospects, y remedies. Iowa State. J. Res. 59:497-527, 1985.
- Goodman, M.M. Genetic y germplasm stocks worth conserving. *J. Hereditary* 81:11-16, 1990
- Gunaratna, S., 2007. Evaluating the nutritional impact of maize varieties genetically improved for protein quality. A Dissertation Submitted to the Faculty of Purdue

- University. In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Of Doctor of Philosophy. Indiana: Purdue University West Lafayette.
- Guzmán, J., 1966. Apuntes sobre el cultivo del maíz. 135 pp. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Hameed, A., Pollack, L. M. y Hinz, P. N. Evaluation of Cateto maize accessions for grain yield and physical grain quality attributes. *Crop. Sci.* 34:265-269, 1994
- Hatheway, W., 1957. Races of Maize in Cuba. Washington, D.C.: National Academy Of Sciences-National Research Council.
- Howe, E.E., Janson, G.R. y Gilfillan, E.W. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. *Am. J. Clin. Nutr.* 16: 3 1 5320.
- Huang, S., Whitney, R., Zhou, Q., Kathleen, P., Dale, A., Jan, A., y otros. (2004). Improving nutritional quality of maize proteins by expressing sense and antisense zein genes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 7 (52), 1958-1964.
- INCA, 2001. *EcoMic*, una alternativa ecológica para sus cultivos. Plegable.
- IPGRI. Material de apoyo a la capacitación en conservación *ex situ* de recursos Filogenéticos. 45 pp., 1998.
- IPGRI. Informe anual 1999. Instituto Nacional de Recursos Fitogenéticos, Roma. PP. 22-23. ISBN 92-9043-460-0, 2000.
- Jansen, G. (1978). Biological evaluation of protein. *Food Technology*, 12 (32), 52-56.
- Krivanek, A. F., De Groote, H., Gunaratna, N. S., Diallo, A. O., y Friesen, D., 2007. Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology*, 6, 312-324.
- Landry, J. y Moureaux, T. 1970. Hétérogénéité des glutélines du grain de maïs: Extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions i solées. *Bull. Soc. Chim. Biol.* 52: 1021 - 1037.
- Landry, J. y Moureaux, T. 1982. Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain. *Phytochemistry*. 21: 11365- 1869.
- López, M., 1999. Impacto de la investigación en mejoramiento de maíz en Centroamérica y el Caribe: 1966-97. *Agronomía Mesoamericana*, 10(2): 111-131.
- Louette, D. and Smale, M. Farmers' seed selection practice and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. *Euphytica* 113: 25-41, 2000.

- Louette D., Charrier, A., Berthaud, J. *In situ* conservation of maize in Mexico: genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Econ. Bot.* 51: 20-38, 1997.
- Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman MM, Sanchez-G J, Buckler E, Doebley J., 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences. (PNAS) USA.* 99:6080-6084. Disponible en: teosinte.wisc.edu/pdfs/Matsuoka_et_al_PNAS.pdf . Fecha de acceso: 3 Septiembre 2010.
- Mendoza, M., Andrio, E., Juarez, J., Mosqueda, C., Latournerie, L., Castañón, G., y otros. (2006). Contenido de lisina y triptófano en accesiones de maíz de alta calidad proteica y normal. *Agronomía Mesoamericana*, 22 (2), 153-161.
- Mertz, E. T., Bates, L. S., y Nelson, O. E., 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*, 145, 279-280.
- MINAG, 2010. Guía técnica para la producción del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Ministerio de la Agricultura, Cuba.
- MINAG, 2011. Lista oficial de variedades comerciales 2011. Ministerio de la Agricultura, Cuba, Centro Nacional de Sanidad Vegetal. 42 pp.
- Miranda, C. S. (1966). Discusión sobre el origen y distribución del maíz. *Memorias del Segundo Congreso Nacional de Citogenética* , 233-251.
- Montaner, J. (20 de agosto de 2003). El mundo de los cereales mutantes. Las variedades mutadas de los principales cereales han permitido doblar la productividad de alimentos en apenas 30 años. Recuperado el 18 de abril de 2008, de [http://www.consumaseguridad.com/El mundo de los cereales mutantes.htm](http://www.consumaseguridad.com/El_mundo_de_los_cereales_mutantes.htm)
- Morales, M. (2002). Efecto del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niño(a)s de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del Estado de Oaxaca: una estrategia agronómica de desarrollo entre campesinos que practican agricultura de subsistencia. Texcoco, Estado de México, México.: Colegio de Postgraduados, Montecillo.

- Moreno, V. Manejo de la producción de semillas en fincas tradicionales de Cuba. Tesis para optar por el Grado en Maestro en Ciencia Biológicas (Mención Genética Vegetal) Universidad de La Habana, Facultad de Biología, 82 pp., 2007.
- Muñoz, A., 2003. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, origen genético y Geográfico. Texcoco, México D.F.: CENTLI-MAÍZ.
- NCGA (National Corn Growers Association) en: La revitalización de la agricultura: el bioetanol en los Estados Unidos. Bayer Crop Science, Correo (2)13-15, 2007
- ONE, 2011. Agricultura en cifras CUBA 2010. Oficina Nacional de Estadísticas, República de Cuba.
- Ortiz R, Taba S, Chávez Tovar VH, Mezzalama M, Xu Y, Yan J, Crouch, JH., 2010. Conserving and Enhancing Maize Genetic Resources as Global Public Goods— A Perspective from CIMMYT. *Crop Science* 50:13–28.
- Ortiz, L., y Guerra, M. (1983). Caracterización de las proteína de los maíces Venezuela 1 Arichuna, Obregón y Venezuela-1 Opaco-2. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 3 (33), 539.
- Paes, M. C., y Bicudo, M. H. (1994). Nutritional Perspectives of Quality Protein Maize. Proceedings of the International Symposium on Quality Protein Maize. Sete Lagoas, MG, Brasil: EMBRAPA/CNPMS.
- Perales, H., Brush S. and Qualset, B. Dynamic management of maize landraces in Central Mexico. *Econ. Bot* 57: 21-34, 2003.
- Piperno DR, Ranere AJ, Hoist I, Dickau R, Iriarte J., 2009. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.p. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. Proceedings of the National Academy of Sciences. (PNAS) USA. 106: 5019-5024. Disponible en: www.pnas.org/content/early/2009/03/20/0812525106.full.pdf+html. Fecha de acceso: 3 Septiembre 2010.
- Poehlman, J. M., y Allen, S. D. (2003). *Mejoramiento genético de las cosechas*. México, D. F.: LIMUSA. 2da edición.
- Pollak LM., 2003. The history and success of the public-private project on germplasm enhancement of maize (GEM). *Advances in Agronomy*. 78:45-87. Disponible en: <http://www.public.iastate.edu/~usda->

- [gem/Publications/Publications/Advances%20in%20Agronomy.pdf](#). Fecha de acceso: 3 September 2010.
- Rabí, O., P. Pérez, N. Permuy, J. Hung y F. Piedra, 2001. Guía técnica para la producción del cultivo del maíz. 12 pp. Editora Lilliana, La Habana.
- Ramos, A. y E. Hernández X., 1972. Variación morfológica de los maíces de la zona oriental del estado de México y Centro de Puebla, México. En: Xolocotzia. Tomo II. 1987. Universidad Autónoma Chapingo. Subdirección de Centros Regionales. Dirección de Difusión Cultural. Revista de Geografía Agrícola. México.
- Rehm, S. y G.Espig, 1991. The cultivated plants of the tropics and subtropics. 552 pp. Editora Verlag Josef Margraf, Scientific Books. ISBN: 3-8236-1169-0.
- Riccelli, M. (2000). Mejoramiento Genético Y Biotecnología, Introducción A La Genética Del Maíz. El Maíz En Venezuela. Venezuela: Fundación Polar.
- Rice, E., Smith, M., Sharon, M. y Stephen, K. Conservation and change: a comparison of *in situ* and *ex situ* conservation of Jala Maize germplasm. *Crop. Sci.* 46:428-436, 2006.
- Rincon, F., Johonson, B., Crossa, J. y Taba, S. Cluster analysis, an approach to sampling variability in maize accessions. *Maydica* 41: 307-316, 1996.
- Rincon, F., Johonson, B., Crossa, J. y Taba, S. Identifying subsets of accessions by three-mode principal component analysis. *Crop. Sci.* 37:1936-1947, 1997.
- Rosegrant MW, Msangi S, Ringler C, Sulser TB, Zhu T, Cline SA., 2008. International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT): Model Description. International Food Policy Research Institute: Washington, D.C. Disponible en: www.ifpri.org/themes/impact/impactwater.pdf. Fecha de acceso: 3 Septiembre 2010.
- Ruiz, J., Gómez, R., Lara, D. y B. De la Noval, 1997. Estudio de dosis de fertilizante *EcoMic* en el recubrimiento de semillas de Tomate, maíz y soya. *Cultivos Tropicales* 18(1), pp. 13-15.
- Salhuana, W. Seed increase and germplasm evaluation. pp. 29-38. *In* Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: Proceedings of the global maize germplasm workshop. Mexico. D. F., 1988.

- Sansano, C., 2008. Cereales: estructura y composición nutricional. Alicante: Universidad de Alicante.
- Satorre, E., Benech R., Slafer G., de la Fuente E., Miralles, D., Otegui M. y R. Savin, 2008. Producción de Granos-Bases Funcionales para su Manejo. 816 pp. Edit. Orientación Gráfica, Argentina.
- Scrimshaw, N. S., Bressani, R., Behar, M., y Viteri, F., 1958. Supplementation of cereal proteins with amino acids. I. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at the higher levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. *Journal of Nutrition*, 66, 458-499.
- Seefoó, J. L.; Keibach, N. M., 2010. Ciencia y paciencia campesina. El maíz en Michoacán. El Colegio de Michoacán. Gobierno del estado de Michoacán. Secretaría de Desarrollo Rural.
- Sikka, K., y Johari, R. (1979). Comparative nutritive value and amino acid content of different varieties of sorghum and effect of lysine fortification. *J. Agric. Food Chem.*, 5 (27), 962-965.
- Smale, M., Aguirre J. A., Bellon M. R., Mendoza, J., Rosas I. Farmer management of maize diversity in the central Valleys of Oaxaca, Mexico: CIMMYT/INIFAP, 1998. baseline socioeconomic survey. CIMMYT. Economics working paper 90-09. International maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Mexico, DF., 1999.
- Smale, M., Bellon, M. R., and Aguirre-Gomez, J. A. Maize diversity, varieties attribute and farmers` choices in Southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Development and Cultural Change* 50: 201-225, 2001.
- Smith, M., y Paliwal, R. (1996). *Contributions of genetic resources and biotechnology to sustainable productivity increases in maize*. Austin, TX, USA, R.G. Lands and Academic Press.: Plant biotechnology and plant genetic resources for sustainability and productivity.
- Socorro, M. y D. Martín, 1989. Maíz. En: Granos, pp. 190-318. Edit. Pueblo y Educación. 318 pp. La Habana, Cuba.
- Sthapit, B. R. y Jarvis D. Fitomejoramiento participativo y conservación en finca. LEISA. Abril 2000, volumen 15. pp. 39-41, 2000.

- Sturtevant, A., 1899. Varieties of corn. Washington DC: USDA Office of Exp. Stn. Bull. 57. U.S. Gov. Print. Office.
- Tabata S, van Ginkel M, Hoisington D, Poland D., and Wellhausen-Anderson, D., 2004. Plant Genetic Resources Center: Operations Manual. El Batán, México: CIMMYT. Disponible en: http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning_space/cimmyt_operations_manual.pdf
- Vasal, S. K. (2000). The quality protein maize story. *Food and Nutrition Bulletin*, 21 (44), 450.
- Watson, S. A. Corn marketing, processing, and utilization. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, p. 882-940. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy, 1988.
- Weber, E.J. 1987. Lipids of the kernel. En S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. *Corn chemistry and technology*, p. 311 -349. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Webster D, Rue D, Traverse A., 2005. Early *Zea* cultivation in Honduras: Implications for the Iltis hypothesis. *Economic Botany* 59, 2:101-111. Disponible en: www.anthro.psu.edu/faculty_staff/docs/Webster_EconomicBotany.pdf. Fecha de acceso: 15 Junio 2010.
- Wellhausen, E. J. The indigenous maize germplasm complexes of Mexico: Twenty-five years of experience and accomplishments in their identification, evaluation, and utilization. P 17-28. In *Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: Proceedings of the global maize germplasm workshop*. Mexico. D. F., 1988.
- Wilkes, G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv.* 6(1):1-18.
- Wilkes, G., 1988. *Teosinte and the Other Wild Relatives of Maize*. Mexico. D.F.: Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of The Global Maize Germplasm Workshop.

- Wilkes, G., y Goodman, M. (1995). *Mystery and Missing Links: The origin of Maize*. In: *Taba (eds.)*. CIMMYT. Mexico, D.F.: Maize Genetics Resources. Maize Program Special Report.
- Wilkes G., 2004. Corn, strange and marvelous: but is a definitive origin known? In: Smith CW, Betran J, Runge ECA, editors. Corn: origin, Technology, and Production. John Wiley & Sons, Inc. pp. 3-64.
- Wood, D., and Lenne, J. The conservation of agrobiodiversity on-farm: questioning the emerging paradigm. *Biodivers. Conserv.* 6:109-129, 1997.m
- Zhao, W., Zhai, F., Zhang, D., An, Y., Liu, Y., He, Y., y otros. (2004). Lysine-fortified wheat flour improves the nutritional and immunological status of wheat-eating families in northern China. *Food and Nutr. Bull.*, 25, 123.

Currículo y datos de los autores

Ramón Mariano López Fleites

Ingeniero Agrónomo (1963, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, UCLV), Doctor en Ciencias Agrícolas (1983, UCLV, con tutoría de la Universidad de Rostock, Alemania). Profesor Titular (Consultante) del Departamento de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias/UCLV. Ha impartido docencia de pre y postgrado desde 1964, en las temáticas de Administración de Empresas, Fitotecnia, Ecología, Agroecología y Sistemas de Producción Agrícola. Investiga en los temas de Fitotecnia y Agroecología. Ha dirigido más de 50 trabajos de Diploma. Ha participado en múltiples Congresos y Eventos Científicos Nacionales e Internacionales. Tiene más de 35 publicaciones en revistas nacionales e internacionales y dos libros de textos publicados. Ha participado en varias misiones de trabajo al exterior: Italia, Alemania, Hungría, México, Bulgaria, Argentina, Colombia y Ecuador. Ha elaborado y dirigido proyectos de investigación participativa en la Amazonía Ecuatoriana. Ha ocupado cargos tales como Director de Empresas Agrícolas, Jefe de Departamento, Docente, Vicedecano, Decano y Rector.

Víctor Daniel Gil Díaz

Ingeniero Agrónomo (1985, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, UCLV), Master en Agricultura Sostenible (2007, UCLV). Investigador Auxiliar, Grupo de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas de Granos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), perteneciente a la UCLV. Profesor de la Asignatura “Producción y Conservación de Recursos Fitogenéticos” en la Maestría en Agricultura Sostenible, de la UCLV. Imparte conferencias sobre Cultivos de Granos en la Asignatura “Sistemas de Producción Agrícola” en el pregrado de Agronomía. Realiza tutorías de Tesis de Grado de estudiantes de Ingeniería Agronómica, así como de Tesis de Maestría en Agricultura Sostenible. Dirige proyectos de investigación Nacional y de Cooperación Internacional, en temas de Genética y

Fitomejoramiento, conservación de la biodiversidad agrícola, estudio y mejora de los sistemas productivos agrícolas, así como de innovación y desarrollo agropecuario local. Imparte cursos y talleres de capacitación a campesinos, productores y especialistas de la rama agropecuaria. Autor y Coautor de varios premios de la Academia de Ciencias de Cuba y de Premios de innovación Tecnológica. Ha participado en más de 90 Congresos y Eventos Científico- Técnicos; es autor y coautor de más de 60 publicaciones científicas. Ha participado en varias misiones de trabajo en el exterior: Rusia, Costa Rica, Venezuela, Bolivia y Ecuador.