

Libros de **Cátedra**

Cereales de verano

María Rosa Simón y Silvina Inés Golik (coordinadoras)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

CEREALES DE VERANO

María Rosa Simón
Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Dedicatorias

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

Agradecimiento

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

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

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

Índice

PRÓLOGO _____ 9

Capítulo 1

Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química _____ 10

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

Capítulo 2

Maíz: Crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz _____ 26

Silvina Golik, Matías Schierenbeck, Juan Ignacio Dietz, María Constanza Fleitas

Capítulo 3

Maíz: Época y densidad de siembra _____ 41

María Rosa Simón, Matías Schierenbeck, Juan Ignacio Dietz

Capítulo 4

Maíz: Fertilización y rotaciones _____ 57

Silvina Golik, María Constanza Fleitas

Capítulo 5

Maíz: Manejo de enfermedades _____ 75

María Rosa Simón, Silvina Larran, María Constanza Fleitas

Capítulo 6

Maíz: Manejo de plagas _____ 101

María Rosa Simón, Juan Ignacio Dietz, Matías Schierenbeck

Capítulo 7

Maíz: Manejo de malezas _____ 133

María Soledad Zuluaga, Silvina Golik, María Constanza Fleitas, Carlos Campanela

Capítulo 8

Maíz: Zonas de cultivo _____ 151

Silvina Golik, Matías Schierenbeck, María Constanza Fleitas

Capítulo 9

Maíz: Usos y comercialización _____ 177

María Rosa Simón, Guillermo Sebastián Gerard

Capítulo 10

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

Capítulo 11

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

Capítulo 12

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

Capítulo 13

Sorgo: Época y densidad de siembra_____ 244
Silvina Golik

Capítulo 14

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

Capítulo 15

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

Capítulo 16

Sorgo: Manejo de plagas_____ 279
María Rosa Simón

Capítulo 17

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

Capítulo 18

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

Capítulo 19

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

Capítulo 20

Sorgo: Objetivos del mejoramiento genético_____ 316

María Rosa Simón, Guillermo Gerard

Capítulo 21

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

Alfonso Vidal

Capítulo 22

Arroz: Crecimiento y desarrollo_____ 341

Alfonso Vidal

Capítulo 23

Arroz: Época y densidad de siembra_____ 352

Alfonso Vidal

Capítulo 24

Arroz: Fertilización y rotaciones_____ 356

Rodolfo Bezus

Capítulo 25

Arroz: Manejo de enfermedades_____ 364

Alfonso Vidal, María Constanza Fleitas

Capítulo 26

Arroz: Manejo de plagas_____ 373

Alfonso Vidal

Capítulo 27

Arroz: Manejo de malezas_____ 380

Rodolfo Bezus

Capítulo 28

Arroz: Zonas de cultivo_____ 392

Alfonso Vidal

Capítulo 29

Arroz: Usos y comercialización_____ 397

Alfonso Vidal

Capítulo 30

Arroz: Objetivos del mejoramiento genético_____405

Alfonso Vidal

Capítulo 31

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

María Rosa Simón, María Constanza Fleitas

Los autores_____427

Prólogo

Esta obra pretende ser una herramienta de utilidad especialmente para nuestros alumnos de Cerealicultura. Esperamos que a través de su lectura logren comprender e integrar más fácilmente los conceptos impartidos durante el curso. Creemos que será también de interés para alumnos de posgrado y profesionales interesados en la temática.

Aborda contenidos referidos a los principales cereales de verano: maíz, sorgo y arroz. Se han abarcado todos los aspectos que hacen a la producción de estos cultivos, incluyendo su morfología, crecimiento, adversidades y manejo del cultivo, usos, comercialización y mejoramiento. Los capítulos se han desarrollado por cultivos, comenzando por maíz, luego sorgo y finalmente arroz. En cada capítulo de los tres cereales se ha abordado. En el capítulo 1: la importancia, origen, sistemática, morfología y composición química, en el capítulo 2: crecimiento y desarrollo, en el capítulo 3: época y densidad de siembra, en el capítulo 4: fertilización y rotaciones, en el capítulo 5: manejo de enfermedades, en el capítulo 6: manejo de plagas, en el capítulo 7: manejo de malezas, en el capítulo 8: zonas de cultivo, en el capítulo 9: usos y comercialización y en el capítulo 10: objetivos del mejoramiento genético. Asimismo hemos incluido un capítulo integrador, ya que lo consideramos fundamental para una cabal comprensión de los distintos cultivos.

Quedará a cargo de los lectores integrar cada uno de los aspectos mencionados para poder tomar decisiones acertadas en el manejo de los cultivos.

CAPÍTULO 1

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

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

Importancia

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

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

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

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

Origen y sistemática

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

En cuanto a su origen filogenético, existen diferentes teorías:

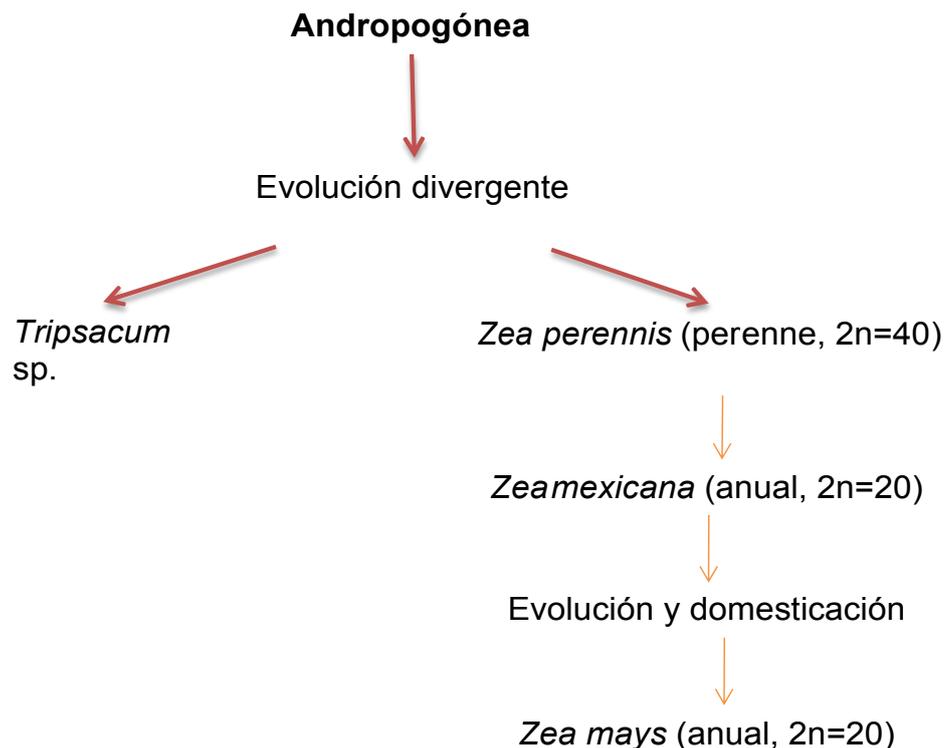
Una de las teorías acepta el hecho de que el teosinte es el antecesor silvestre y/o allegado al maíz y que ha participado directamente en el origen del maíz cultivado (Iltis, 1983; Mangelsdorf, 1986; Galinat, 1988, 1995; Goodman, 1988; Doebley, 1990). Galinat (1988) conjuntamente con Harlan & de Wet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

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

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

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

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



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

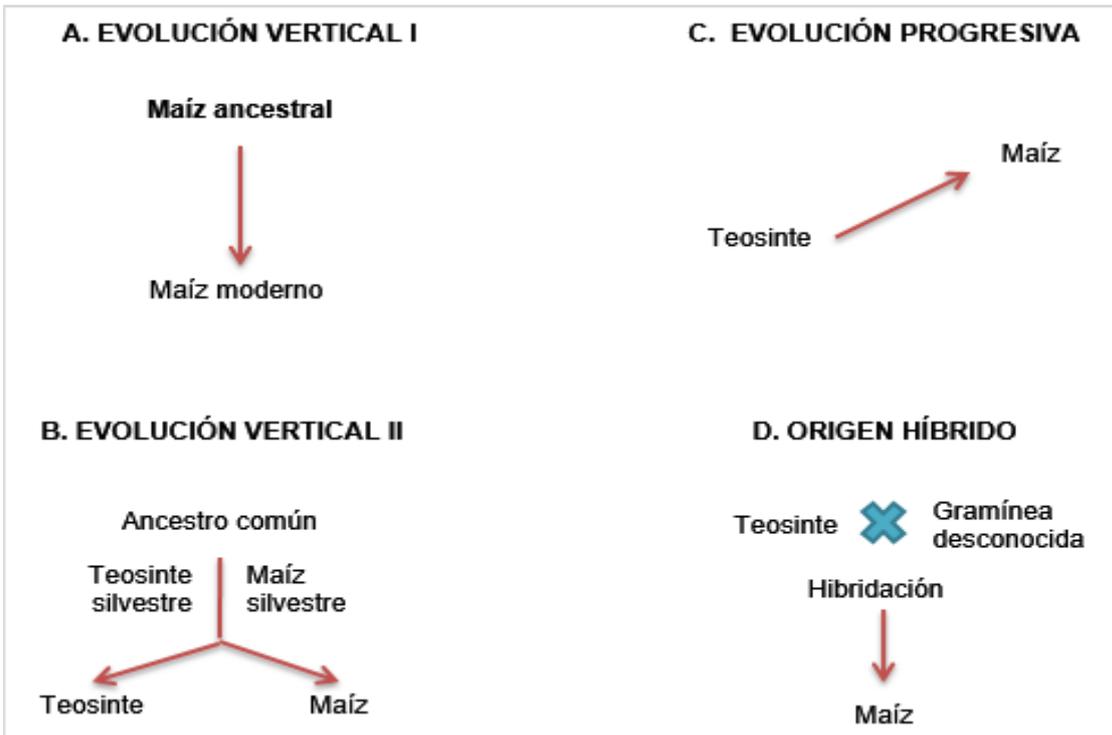


Figura 1.1. Teorías relacionadas con la evolución del maíz

Taxonomía o sistemática del maíz

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

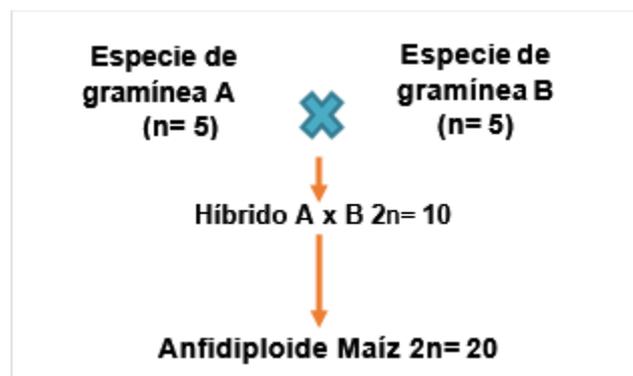


Figura 1.2. Posible origen híbrido del maíz con duplicación de los cromosomas.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

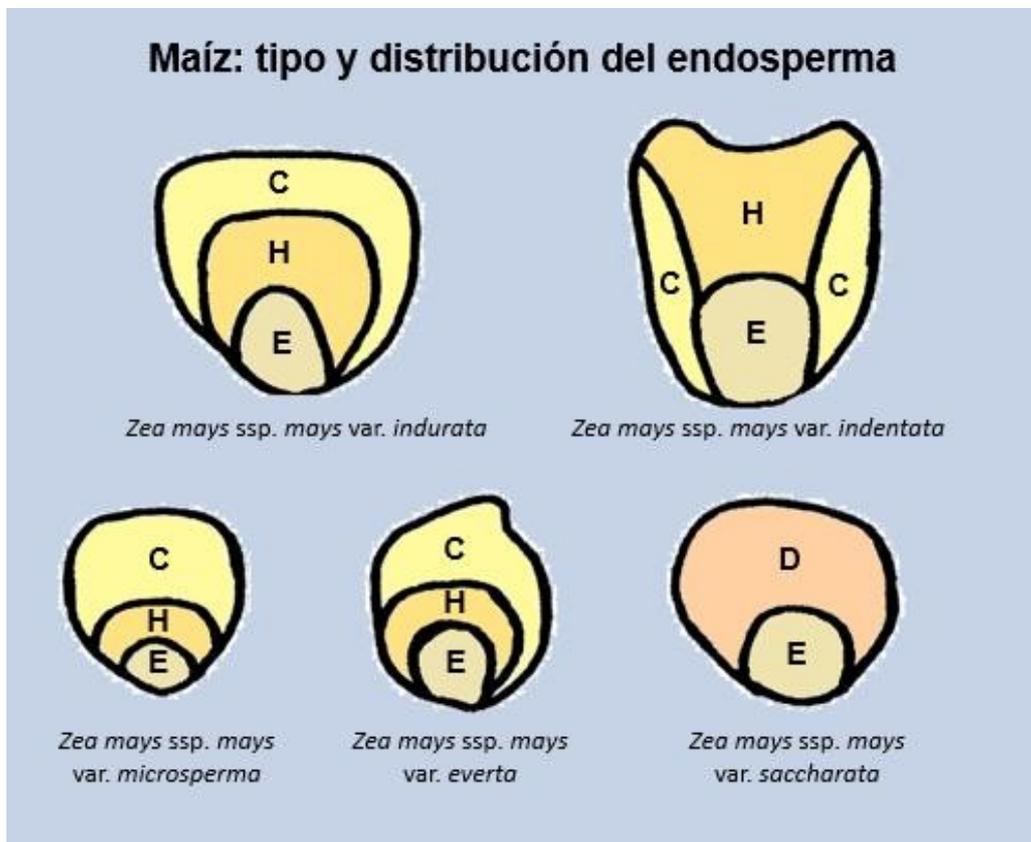


Figura 1.3. Las distintas formas o tipos de maíz (*Zea mays ssp. mays*) clasificadas por Sturtevant (1899)

Morfología

Sistema radical

Seminales

Caulérgicas o adventicias:

- Normales o subterráneas
- De sostén o anclaje.

Seminales

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

Cauléropicas o adventicias

Normales o subterráneas

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

Sostén o anclaje

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

Tallo

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

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

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

Macollos

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

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

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

Hojas

Modificadas

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

Normales

Hojas modificadas

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

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

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

Hojas normales

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

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

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



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



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

Inflorescencia

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

Panoja

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

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

Espiga

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

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

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

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

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

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



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

Antesis, polinización y fecundación

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

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

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

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

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

Xenia

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

Maíz: composición química

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

Tabla 1.1. Composición química del grano de maíz

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

Almidón

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

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

Proteínas

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

Lípidos

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

Pigmentos

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

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

Bibliografía

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

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

CAPÍTULO 2

Maíz: Crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz

Silvina Golik, Matías Schierenbeck, Juan Ignacio Dietz y María Constanza Fleitas

Crecimiento del cultivo de maíz

El rendimiento final de un cultivo es el resultado de dos procesos simultáneos e interdependientes: el crecimiento y el desarrollo. Mientras que el crecimiento es el aumento en el número y tamaño de las células que constituyen los diversos órganos de la planta, el desarrollo es una sucesión progresiva de eventos que conducen a establecer la morfología propia del organismo adulto, a medida que avanza el ciclo ontogénico.

Acumulación y partición de la biomasa

Una de las manifestaciones más claras del crecimiento está dada por el aumento del peso de las plantas y por la asignación de una diferente proporción de la biomasa a los distintos órganos que la conforman. Durante los primeros días del ciclo del cultivo las tasas de crecimiento son bajas y la producción está en su mayor parte orientada a generar tejidos foliares. Posteriormente, durante la etapa de encañazón, el crecimiento del tallo es el responsable del mayor aumento del peso total. A partir de la floración se detiene la producción de tejido foliar, el tallo continúa su incremento de peso durante un lapso de dos a tres semanas (debido a la acumulación de sustancias de reserva) y los órganos reproductivos entran en un acelerado proceso de crecimiento.

Hasta floración el cultivo acumula aproximadamente el 40 % del peso aéreo total, siendo en resto acumulado a partir de este momento hasta la madurez fisiológica de los granos. Durante la etapa de crecimiento de las estructuras reproductivas, se produce una removilización y translocación de reservas (carbohidratos y nutrientes) desde las estructuras vegetativas hacia los granos. Esta reasignación de sustancias ocasiona una pérdida neta del peso de los órganos vegetativos durante la fase final del crecimiento del cultivo. Al llegar a madurez fisiológica, el peso de los granos representa alrededor del 45% del total de las partes aéreas.

En cuanto a la fracción subterránea, Andrade *et al.* (1996), han obtenido porcentajes del 25 % de la biomasa de la parte aérea, en floración, para híbridos de ciclo intermedio, siendo en este periodo cuando alcanzan su máxima profundidad de exploración (alrededor de 2 m). El 90 % de la biomasa radical se ubica en los primeros 30 cm de profundidad.

La ganancia de peso del cultivo se debe principalmente, al intercambio de carbono entre la planta y el ambiente, a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual las plantas transforman parte de la energía solar fotosintéticamente activa (RFA) en energía química. Por lo tanto la producción de biomasa es función de la radiación solar fotosintéticamente activa incidente (RFA_{inc}), de la eficiencia con la que el cultivo la intercepta (e_i =eficiencia de interceptación) y de la eficiencia con que las plantas utilizan la energía interceptada para fijar dióxido de carbono (eficiencia de uso o eficiencia de conversión).

A nivel cultivo se puede definir a la tasa de producción de biomasa (= tasa de crecimiento del cultivo, o bien TCC) (Andrade *et al.*, 1996; Andrade & Sadras, 2002) como el resultado de hacer el siguiente cálculo:

$$TCC = \sum_{i=0}^n RFA_{inc} \times e_i \times ec$$

Donde n es la longitud del periodo de crecimiento (días)

La tasa de crecimiento está fuertemente relacionada con la radiación incidente interceptada. Esto obedece a dos factores independientes que actúan en conjunto a nivel canopeo: los niveles de RFA_{inc} en sí mismos y por otro la capacidad del canopeo de responder a su oferta. Esta capacidad está asociada a la arquitectura del canopeo. Puesto que no toda la radiación incidente durante el periodo de crecimiento del cultivo es utilizada por este. Esto es así porque en los primeros estadios de desarrollo, el cultivo no posee la superficie foliar suficiente como para interceptar la radiación incidente.

La e_i es función de dos parámetros I) su índice de área foliar (L , m^2 de hojas por m^2 de suelo) y II) su coeficiente de extinción (k), (Gardner *et al.*, 1985). La relación entre ambas variables es expresada por la fórmula: $IR=1-e^{-kl}$.

El índice de área foliar (IAF) del cultivo varía con su estado de desarrollo, aumenta con la aparición de hojas y el crecimiento foliar y disminuye con la senescencia de las hojas y con las condiciones ambientales. La relación entre la proporción de radiación incidente interceptada y el IAF es curvilínea. Esto significa, que a bajos niveles de IAF, un incremento del mismo provoca un aumento importante de la proporción de la luz incidente que es interceptada por los cultivos. Por encima de ciertos valores, un incremento similar de IAF resulta en cambios insignificantes en la proporción de radiación interceptada.

Para cada cultivo, se denomina "IAF crítico" al valor mínimo de IAF que permite interceptar el 95% de la radiación incidente. Se debe alcanzar el IAF crítico en el menor tiempo posible después de la siembra del cultivo para maximizar la producción de materia seca.

El coeficiente de extinción varía con el ángulo que presentan las hojas con respecto a la vertical. Este coeficiente puede tomar valores entre 0,3 en canopias erectófilas, con hojas casi verticales y 1,5 en canopias planófilas, con hojas casi horizontales (Nobel *et al.*, 1993). Cuanto mayor es el coeficiente de extinción, mayor es la proporción de luz que intercepta cada unidad de área foliar. Sin embargo, las hojas verticales son más eficientes en fotosíntesis por unidad de radiación interceptada. Una pequeña reducción en la fotosíntesis de las hojas superiores debido a una inclinación vertical permite que más radiación alcance a las hojas inferiores (Gardner *et al.*, 1985). A su vez, la eficiencia con que la radiación interceptada es convertida en biomasa depende de las características del genotipo (metabolismo fotosintético, coeficiente de extinción, calidad energética de la biomasa, etc.) y el ambiente (temperatura, nutrición mineral, disponibilidad de agua, etc.).

Generación del rendimiento

El rendimiento se puede estimar a partir la producción de biomasa y del índice de cosecha (IC). Sin embargo, el IC puede presentar variaciones significativas frente a condiciones de déficit hídrico en producción de secano (Sinclair *et al.*, 1990) o cuando las bajas temperaturas afectan el llenado del grano en siembras tardías o en altas latitudes. Este comportamiento indica claramente que no todas las etapas del ciclo del cultivo son igualmente críticas para la determinación del rendimiento. De los dos componentes que dan lugar al rendimiento en grano, el número de granos.m⁻² es mucho más variable que el peso del mismo y por lo tanto resulta el componente que mas explica el mayor menor rendimiento logrado. El número de granos granos.m⁻² explica más del 80 % de la variabilidad del rendimiento.

Número de granos

La determinación del número de granos tiene lugar durante una parte importante del ciclo del cultivo y a diferencia de lo que ocurre en el trigo (Miralles & Slafer, 2001), la mayor parte de las flores diferenciadas alcanza un desarrollo floral completo (una flor fértil por espiguilla), logra exponer su estigma y es polinizada. En consecuencia, la fuente de variación más importante en el número de granos por planta está constituida por el aborto de flores fecundadas.

La cantidad de plantas con espigas granadas y el cuaje o el aborto de los ovarios fecundados quedan definidos en un periodo de tiempo relativamente breve (30-40 días), ubicado alrededor del momento de aparición de estigmas (cuando se produce el crecimiento de la espiga) y es altamente dependiente de la tasa de crecimiento de las plantas en ese momento. Condiciones ambientales desfavorables (sequía, alta temperatura, baja

irradiancia, déficit nutricional) afectan más al rendimiento cuando ocurren en este periodo que cuando suceden en otras etapas del ciclo, de ahí que se lo denomine de periodo crítico. Fischer (1985) definió el periodo crítico desde los 20 días previos a la antesis hasta los 10 días posteriores a la misma. En general, el síntoma más común de la ocurrencia de un estrés ambiental durante el periodo crítico es un mayor desfasaje entre las floraciones masculina y femenina, con la primera anticipando a la segunda (aumento de la protandria). El grado de asincronía entre las floraciones, para un genotipo dado, varía con la magnitud del estrés. La consecuencia directa de la asincronía floral es una reducción en el número de estigmas polinizados, disminuyendo la producción de granos. Sin embargo, el agregado de polen a los estigmas de aparición tardía no mejora la granazón (Otegui *et al.*, 1995), indicando que la asincronía de polinización condiciona irreversiblemente el destino final de dichas estructuras.

Peso del grano

El peso del grano resulta más estable que el número de granos ante variaciones en el ambiente. Esto se debe a que, en la mayoría de las condiciones de producción, la fotosíntesis durante el llenado y la removilización de reservas permite sostener satisfactoriamente la demanda de los granos en crecimiento. Cuando por algún estrés se limita el número de granos logrados en un ambiente favorable para el crecimiento en el llenado de granos, se puede verificar una disponibilidad de asimilados en exceso de fuente por número de destinos, con acumulación de biomasa en otros órganos de la planta (tallos, raíces). Temperaturas muy altas durante el periodo de llenado generalmente aumentan la tasa de llenado, pero reducen el periodo lo suficiente como para disminuir el peso final.

Desarrollo del cultivo de maíz

Las distintas fases del desarrollo por las que atraviesa un cultivo, constituye su fenología. Durante las mismas se producen cambios fundamentales en su morfología y fisiología a medida que transcurre el tiempo.

Existen distintas escalas con diferente complejidad. La más utilizada para describir el desarrollo del cultivo de maíz es la de Ritchie & Hanway (1982). En ella se utilizan caracteres morfológicos externos y consta de dos grandes etapas, la vegetativa y la reproductiva (Tabla 2.1). La etapa vegetativa consta de subperiodos identificados con la letra V y un subíndice, que corresponden al número de hojas totalmente expandidas (lígula visible) y es altamente dependiente del genotipo y el ambiente considerado. Una vez producida la aparición de todas las hojas, el estado queda definido por la aparición de la panoja (VT: panojamiento). VE indica emergencia del cultivo.

La etapa reproductiva, consta de subperiodos identificados con la letra R y un subíndice. Comienza con la emergencia de los estigmas (R1) y finaliza con la madurez fisiológica de los granos (R6). Las subdivisiones de la etapa reproductiva corresponderán a distintos momentos del llenado del grano (R2: cuaje; R3: grano lechoso; R4: grano pastoso; R5: grano duro).

En forma práctica se puede dividir el ciclo del cultivo en 4 subperiodos:

1º subperiodo: Presiembra a foliación.

Se considera en forma estimativa, desde un mes antes hasta 20-25 después de la siembra. Comprende la germinación y emergencia, hasta cuarta hoja desplegada.

Durante este subperiodo se deben considerar los siguientes factores para obtener una buena implantación.

1- Bióticos (Semilla)

a.- Madurez fisiológica: En maíz se alcanza cuando el grano llega a 33-34 %, de modo que no representa inconvenientes para la siembra aún cuando sí los pueda presentar para cosecha por el brotado en planta. Se manifiesta con la visualización de la capa negra en la base del grano.

b.- Sanidad: Son importantes el espesor y la interidad del pericarpio a fin de evitar o atenuar la incidencia de microorganismos y plagas. Normalmente la semilla se comercializa tratada con fungicida.

c.- Energía (72 hs.) y poder germinativo (7 días).

d.- Disponibilidad de reservas que respalden el crecimiento inicial, sobre todo en situaciones desfavorables.

2 - Edáficos

a.- Presiembra: adquiere gran importancia el barbecho, durante el mismo se debe acumular agua y nutrientes para el maíz.

b.- Temperatura: Las mínimas de germinación están entre 8 a 10°C. En nuestro país se siembra entre 17 y 14°C según zonas. Se relaciona con la velocidad de emergencia. La temperatura óptima de germinación es de 33°C, los mínimos y máximos están en 8-10 °C y 45°C respectivamente.

c.- Humedad: Determina la posibilidad de laboreo y la rapidez en la germinación. Para que ésta ocurra el grano debe absorber hasta un 40% de su peso en agua (se siembra con 12-14%). Para ello resulta muy favorable que el suelo tenga entre 60 y 70 % de saturación. Con 10% la germinación no se inicia y a partir del 80% se detiene por falta de oxígeno, que le es indispensable y de necesidad creciente a medida que se van produciendo los procesos reductivos y oxidativos de las reservas del grano.

Cumplidas las condiciones, con el hinchamiento del grano, comienza el crecimiento de la coleorriza que atraviesa las envolturas del grano. Cuando ha alcanzado aproximadamente 2 mm, es atravesada por la raíz primaria. Luego desarrolla en 1 °par y simultáneamente el coleoptile y finalmente aparece la cuarta raíz seminal.

El coleoptile se alarga 2,5 a 3 cm hasta ubicar el nudo de ahamientos aproximadamente 2 cm por debajo de la superficie. En siembras más profundas el nudo es elevado por el del mesocotilo hasta esa profundidad.

3.- Climáticos

a.- Temperatura: Influye en la división celular, el crecimiento radical y la elongación foliar. Se relaciona con la ocurrencia de heladas tardías.

b.- Lluvias: Se asocian a problemas de planchado o encharcamiento.

4.- Culturales

a.- Epoca de siembra: Se debe relacionar con la fecha media de última helada y la disponibilidad de temperatura y humedad en el suelo; en función de ella y de ciclos, se debe preveer la ubicación del período crítico.

2º subperíodo: Foliación a Panojamiento

Comprende desde la aparición de la quinta hoja hasta la visualización de la panoja. Concuerta con la aparición y desarrollo de las raíces caulinares

Juntamente con los cambios externos, el meristema apical y las yemas axilares también sufren modificaciones (Fig. 2.1). Cuando las plantas se encuentran en V4-V6 (alrededor de un cuarto a un tercio del total de hojas) el meristema apical finaliza la diferenciación de hojas y comienza a diferenciar las espiguillas estaminadas correspondientes a la panoja (Stevens *et al.*, 1986). Posteriormente, cuando la planta tiene alrededor de siete a nueve hojas expandidas (V7 – V9), se produce el comienzo de la diferenciación de los primordios florales de la yema axilar que dará origen a la espiga. Del mismo modo que para el meristema apical, una vez que la yema axilar es inducida a diferenciar órganos florales, cesa la diferenciación de estructuras vegetativas (en este caso de chalas), comenzando la formación de espiguillas con flores pistiladas.

Las hojas ubicadas por encima de la correspondiente a la espiga superior, no presentan yemas axilares visibles. Mientras que las correspondiente a las cuatro a cinco hojas basales, cuyos entrenudos nunca se elongan, permanecen en estado vegetativo y pueden dar lugar a ramificaciones (macollos), según el genotipo, el ambiente y la densidad de siembra.

Tabla 2.1 Estados fenológicos del maíz según la escala de Ritchie & Hanway (1982)

ETAPAS FENOLÓGICAS DEL MAÍZ	
Estados vegetativos	Estados reproductivos
V _E Emergencia	R 1 Emergencia de estigmas
V ₁ Primera hoja	R 2 Cuaje (ampolla)
V ₂ Segunda hoja	R 3 Grano lechoso
V ₃ Tercer Hoja	R 4 Grano pastoso
...	R 5 Grano dentado
...	R 6 Madurez fisiológica
V _n Enésima hoja	
V _T Panojamiento	

Dentro de cada espiga, el número de hileras de espiguillas de la futura espiga queda determinado tempranamente, mientras que la diferenciación de espiguillas se produce acrópetamente sobre cada hilera. A través del mejoramiento se ha logrado pasar de doce a trece hileras a dieciocho- veinte hileras, por efecto del mejoramiento genético, siendo este carácter fuertemente controlado por el genotipo. Por otro lado el número de espiguillas diferenciales por hilera aumentó desde unas cuarenta, en los híbridos antiguos, a casi cincuenta en los más modernos.

La diferenciación de espiguillas sobre las hileras continúa hasta una o dos semanas antes de la aparición de los estigmas, fuera de la envoltura de las chalas. En maíz, a diferencia del trigo, la finalización de la diferenciación no se manifiesta por la formación de una espiguilla terminal, sino por un cambio en el aspecto del domo apical. Esto frecuentemente coincide con el comienzo de la elongación de los estigmas de las espiguillas del tercio inferior de la espiga (Ruget & Duburcq, 1993). En ese momento queda determinado el total de espiguillas diferenciadas, y con ello el número máximo de flores fértiles capaces de ser fecundadas, es decir, el número potencial de granos que puede tener la planta (Fig. 2.1).

La elongación de los entrenudos se inicia alrededor de V₆ y continúa hasta la aparición de los estigmas. Alrededor de floración también queda determinado el índice de área foliar máximo (las láminas de las hojas diferenciadas se hallan totalmente desplegadas) y la altura máxima de las plantas (entrenudos completamente elongados) (Fig. 2.1).

Las raíces seminales dejan de crecer antes de V₃, y a partir de V_E se desarrollan raíces nodales y a partir de V₁₈ aparecen raíces en los nudos ubicados por encima de la superficie de suelo.

En la longitud del subperíodo: Influyen diferentes factores:

1.- Genéticos

Está dado por el cultivar. La relación con caracteres morfológicos (a mayor número de hojas, mayor altura y menor precocidad), se cumple cuando se la considera en un ambiente restringido, pero no así cuando se amplía el rango de localidades.

En la zona núcleo se puede hablar de ciclos de emergencia-floración de 50-55 días en los cultivares precoces y 60-75 días en los de ciclo normal y largo.

2.- Geográfico (latitud)

a- El maíz es una planta de día corto que en latitudes altas prolonga el ciclo, con un aumento de su volumen foliar pero no en el tamaño de espiga.

3.- Climáticos

a- Temperatura: Su aumento determina el acortamiento del subperíodo.

b- Humedad: La deficiencia hídrica retrasa la diferenciación, prolongando el subperíodo.

4.- Culturales

a.- Epoca de siembra: El retraso en la siembra, como consecuencia del aumento de temperatura y acortamiento del fotoperíodo en la parte final, acorta el ciclo. Esta reducción va acompañada, en igualdad de disponibilidad de agua y nutrientes, de una disminución en el rendimiento.

b.- Fertilidad: Altos niveles de nitrógeno alargan el subperíodo por que intensifica el crecimiento vegetativo. Alta disponibilidad de fósforo y/o de potasio acortan el ciclo a panojamiento a su vez el potasio retrasa la madurez.

3° subperíodo: Panojamiento a Fecundación

El panojamiento consiste en la emergencia de la panoja (inflorescencia masculina) a través del cogollo formado por las hojas superiores, y se completa al expandirse la última hoja (hoja bandera). Luego de la emergencia total de la panoja se produce la antesis, que se define como la aparición de las anteras de las flores de las espiguillas de la panoja y el comienzo de la liberación del polen. Este fenómeno avanza en sentido basípeto: comienza en el eje principal y finaliza en las ramificaciones basales de la panoja desde la punta hacia la base. Esto resulta en un período de varios días de liberación de polen (11-14 días), a pesar de que cada flor individual libera polen, generalmente, solo por un día. La liberación del polen ocurre exclusivamente durante las horas de luz, con máximo entre las 9 y las 11hs (Otegui, 1992). La fecundación es anemófila, por ello requiere de la producción y liberación de una gran cantidad de polen.

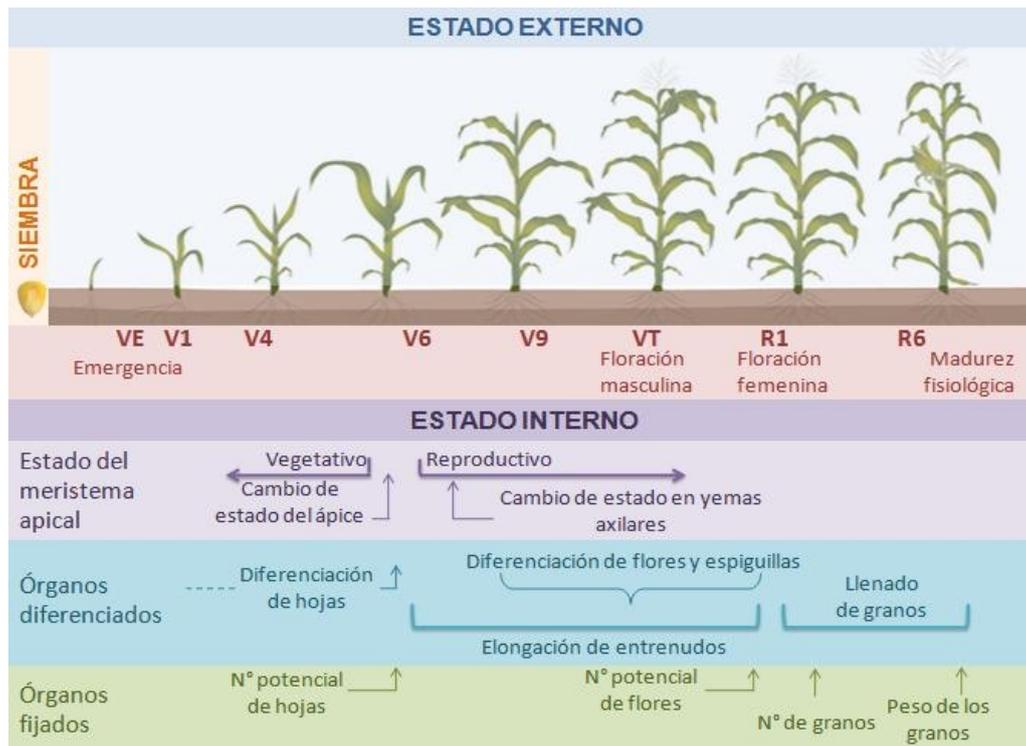


Figura 2.1. Ciclo ontogénico del maíz. Adaptado de Andrade *et al.* (1996)

Por su parte, la floración femenina consiste en la emergencia de los estigmas fuera de la envoltura de las chalas. Los estigmas de las flores que son fecundadas cesan su crecimiento inmediatamente, mientras que los de las flores no fecundadas continúan creciendo hasta 15 días después de su aparición (Fischer & Palmer, 1994). La receptividad de los estigmas cae marcadamente a partir de los siete días de su aparición, tornándose nula a los 14 días de su emergencia (Sadras *et al.*, 1985; Bassetti & Westage, 1993). La emergencia de los estigmas es también un proceso progresivo. Los estigmas de una espiga toman de cuatro a ocho días en emerger, en una secuencia que sigue el patrón general de diferenciación y desarrollo de la inflorescencia (Bassetti & Westgate, 1993).

Por lo expuesto, el período de emisión de polen y de aparición de estigmas en el cultivo se extiende durante un tiempo, que en los genotipos tradicionales abarcaba de una a dos semanas, mientras que en los híbridos simples de última generación estos procesos se completan en cuatro o tres días, y aún en horas. Este aumento de la sincronización en el desarrollo floral de la panoja y la espiga, aumenta la posibilidad de fecundación en condiciones de campo. Si no existen restricciones ambientales, la aparición de estigmas ocurre en general poco después (uno o dos días) del comienzo de la anthesis (protandria).

Condiciones ambientales desfavorables, como sequía, baja radiación solar (días nublados), estrés hídrico o térmico, deficiencias de nutrientes y densidades de plantas por encima de la óptima, retardan el crecimiento de los estigmas (se acentúa la protandria), disminuye el tiempo de producción de polen y la cantidad y viabilidad del mismo, además aumenta el porcentaje de sacos embrionarios defectuosos. Todo ello trae como resultado una mala fecundación y una merma de rendimiento. El número de

ovarios fecundados en el cultivo queda determinado al cuando finaliza la liberación de polen. No obstante, el número de granos por planta puede disminuir durante el periodo de “cuaje”, el que, según la temperatura, se extiende entre diez y veinte días después de floración (Kiniry & Rittchie, 1985). Por lo cual, el número de los granos por planta, que es el principal determinante del rendimiento en grano por planta (Tollenaar, 1977; Hall *et al.*; 1981) queda establecido en ese momento (Fig. 2.1).

El número de espigas por planta (prolificidad) depende del genotipo, del ambiente (disponibilidad de recursos por planta) y del manejo (densidad), siendo particularmente importante en su determinación las condiciones durante la floración y las últimas dos semanas previas a la misma (periodo crítico) (Fischer & Palmer, 1984; Jacobs & Pearson; 1991). Si bien cada planta pudo haber llegado a diferenciar espiguillas en seis o siete yemas axilares, sólo una a dos espigas por planta darán granos.

4° subperíodo: Granazón, Madurez

El período de llenado de los granos transcurre desde el momento de la fecundación hasta la formación de una capa de abscisión en la base de los mismos, denominada “capa negra”, resultante, esta última de la necrosis de los haces vasculares que conectan al grano con los tejidos maternos. El periodo de llenado del grano se diferencian tres etapas: la primera etapa coincide con el cuaje de los granos, donde la acumulación de materia seca es muy baja (R2). Durante la misma tiene lugar una activa división celular, que da lugar a la formación de células endospermáticas. La segunda etapa, llamada de llenado efectivo del grano o fase de crecimiento lineal, muestra la máxima tasa de llenado y suele representar más de la mitad del período total de llenado (Fischer & Palmer, 1984). La tercera etapa, de crecimiento no lineal, tiene una duración de una a dos semanas (Fischer & Palmer, 1984) y en ella la tasa de llenado declina progresivamente hasta hacerse nula, completándose el crecimiento del grano, el cual alcanza su madurez fisiológica (R6), con un 33-34 % de humedad, a los 50-60 días del comienzo de la formación del grano. En este periodo se produce una activa pérdida de humedad del grano. A la semana de completado el llenado se visualiza la formación de la capa negra, que pone en evidencia su madurez fisiológica y queda determinado el peso final del grano, tercer factor determinante del rendimiento.

Factores que controlan el desarrollo

Las etapas mencionadas pueden presentar una gran variabilidad principalmente entre genotipos, fechas de siembra y localidades debido a su respuesta a factores ambientales como la temperatura y el fotoperíodo.

Temperatura

La relación entre la temperatura y desarrollo permitió la elaboración del cálculo del tiempo térmico para predecir la fenología del cultivo, basados en la acumulación de grados-días (Ritchie & NeSmith, 1991).

$$\text{Tiempo térmico (TT)} = \sum (T_x - T_b)$$

Donde T_x es la temperatura media diaria del aire, T_b es la temperatura para el periodo considerado. El resultado se expresa en unidades térmicas conocidas como grados días ($^{\circ}\text{Cd}$).

De este modo, logramos independizarnos de las temperaturas diarias y si bien el tiempo real que transcurre hasta alcanzar una determinada etapa de desarrollo no es constante y, en general, los estadios se cumplen más rápidamente a medida que aumenta la temperatura, la respuesta de la velocidad de desarrollo (inversa de la duración en días de la etapa) es aproximadamente lineal dentro de un rango térmico comprendido entre una temperatura base (6°C a 10°C según el genotipo, siendo de aproximadamente 8°C para los cultivares difundidos en nuestro país (Otegui *et al.*, 1992; Cirilo, 1994)), debajo de la cual la velocidad de desarrollo es nula y una temperatura óptima ($30\text{-}34^{\circ}\text{C}$) a la cual se alcanza la máxima velocidad de desarrollo. Por encima de la temperatura óptima el desarrollo se reduce progresivamente hasta detenerse al alcanzar un límite de temperatura ($40\text{-}44^{\circ}\text{C}$) (Kiniry & Bonhomme, 1991).

Así, la diferenciación foliar durante la fase vegetativa responde lineal y positivamente a la temperatura en el rango térmico comprendido entre sus valores base y óptimo. Citándose valores de requerimiento térmico por primordio foliar entre 19 y $21^{\circ}\text{C}\cdot\text{día}^{-1}$ para temperaturas base de alrededor de 8°C con diferencia entre genotipos (Kiniry & Bonhomme, 1991). Este requerimiento se denomina plastocrono. La emergencia de cada punta visible de hoja requiere entre 36 y $40^{\circ}\text{Cdía}^{-1}$ (sobre la temperatura base de 8°C) en la mayoría de los ambientes templados, desde la segunda hoja en adelante (Tollenaar *et al.*, 1979; Kiniry & Ritchie, 1981), aunque se han constatado diferencias entre 16 y 30% en el tiempo térmico requerido por hoja (Kiniry & Bonhomme, 1991). A este requerimiento se lo denomina filocrono. Por lo cual, se deduce que el ritmo de diferenciación de primordios foliares es mucho mayor que el de aparición o expansión de las hojas.

A su vez, la duración del periodo entre el cambio de estado del ápice y la emergencia de la panoja en maíz está determinada por el número de hojas a desplegar y la velocidad de aparición de hojas. Cuanto mayor sea el número de hojas, mayor serán las unidades térmicas necesarias para completar la fase; y cuanto mayor sea la temperatura en el período, más rápido se desplegarán sus hojas. En consecuencia, la influencia de la temperatura sobre la duración de la fase de inducción a floración se ejerce a través de dos procesos independientes: su incidencia sobre el número final de hojas, a través de su

influencia sobre la producción de primordios foliares en el ápice, y su efecto sobre la velocidad de aparición de hojas. Debido a que el fotoperiodo tiene una poca influencia en el desarrollo del maíz luego de la diferenciación de la panoja y la velocidad de aparición de hojas (Warrington & Kanemasu, 1983; Manrique & Hodgers, 1991), el principal factor modulador del desarrollo durante dicha fase es la temperatura. Los maíces de ciclo más largo presentan mayor número total de hojas, por lo tanto poseen mayor requerimiento térmico para completar el periodo hasta el cambio de estado del ápice. Consecuentemente, tales genotipos tienen también un mayor requerimiento térmico total para desplegar sus hojas, incrementando la acumulación de grados-días necesaria para alcanzar la floración.

Para la diferenciación de espiguillas en la espiga, Otegui & Melón (1997) calcularon un requerimiento de $7,7^{\circ}\text{C}\cdot\text{día}^{-1}$ por cada nueva espiguilla por hilera en la espiga. Las diferencias entre genotipos en la duración de este período modifican el número de espiguillas diferenciadas, dando como resultado espigas de distinta longitud.

Dependiendo del genotipo, el requerimiento térmico para el periodo floración-madurez varía aproximadamente entre 600 y 900 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{día}^{-1}$ acumulados sobre una temperatura base de 8°C (Kiniry & Bonhomme, 1991). Para la etapa inicial del periodo de llenado de granos (fase de activa división celular), el requerimiento térmico es de alrededor de 170 grados-día sobre una temperatura base de 8°C (Kiniry & Bonhomme, 1991), sin diferencias importantes entre cultivares (Cross, 1975). Por su parte, la tasa de acumulación de la materia seca en el grano, durante la etapa lineal de llenado efectivo, está fuertemente controlada por la temperatura (Jones *et al.*, 1981; Afuakwa *et al.*, 1984; Tollenaar & Bruulsema, 1988).

Influencia del fotoperiodo

El maíz es una especie cuantitativa de días cortos, lo que implica que su ciclo se alarga cuando la longitud del día excede un fotoperíodo crítico (o umbral fotoperiódico) de, generalmente, 12,5 horas (Kiniry *et al.*, 1983; Ellis *et al.*, 1992). Pero, generalmente esta respuesta se ve enmascarada por efecto de la temperatura. Este tipo de respuesta evitaría que el ciclo del cultivo se acorte excesivamente frente al aumento de la temperatura asociado con el atraso en su fecha de siembra, en determinados ambientes. El maíz presenta una etapa etapa juvenil temprana, durante la cual el meristema apical es insensible al fotoperiodo (Calder, 1964), y durante la misma diferenciando primordios foliares a una tasa regulada sólo por la temperatura. La duración de esta etapa varía con el genotipo. En la etapa siguiente, denominada inductiva, el meristema continúa diferenciando hojas, pero se torna sensible al estímulo fotoperiódico y es capaz de iniciar la fase de diferenciación de estructuras reproductivas. En condiciones de fotoperiodo cortos (altamente inductivos) esta fase presenta su menor duración, comenzando cuatro u ocho días antes de la iniciación de la panoja (Kiniry *et al.*, 1983). El tiempo hasta la iniciación floral del ápice se prolonga con incrementos en el largo del día cuando este excede el valor de un fotoperiodo crítico o umbral fotoperiódico (Ellis *et al.*, 1992) (Fig. 2.2).

Existe gran variabilidad genotípica tanto en el valor del umbral fotoperiódico como en la sensibilidad de la respuesta fotoperiódica (Rood & Major, 1980; Ellis *et al.*, 1992; Bonhomme *et al.*, 1994). Los cultivares tropicales de madurez tardía muestran mayor sensibilidad que los adaptados a ambientes templados (Kiniry *et al.*, 1983; Russel & Stuber, 1983; Bonhomme *et al.*, 1991).

Siendo que la iniciación de la formación de la panoja en el meristema apical marca el fin de la producción de hojas, el total de hojas iniciadas es el resultado del tiempo transcurrido hasta la inducción floral y de la velocidad de iniciación de primordios foliares durante dicho lapso (Hunter *et al.*, 1977; Jones *et al.*, 1986; Kiniry & Bonhomme, 1991). Como la respuesta fotoperiódica se manifiesta en la demora en el momento de la iniciación floral, fotoperiodos largos durante la fase inductiva pueden resultar en la producción de más primordios de hojas en los cultivares sensibles y, consecuentemente, en más hojas que deben emerger antes del panojamiento, retrasando la floración e incrementando el tiempo térmico hasta antesis (Warrington & Kanemasu, 1983; Manrique & Hodges, 1991). Sin embargo, la respuesta en términos de un aumento del número de hojas frente a fotoperiodos mayores al umbral, en los cultivares sensibles, depende de la temperatura. Fotoperiodos largos acompañados de bajas temperaturas no siempre se traducirán en un mayor número de hojas. Del mismo modo, el número de hojas de un genotipo dado, sembrado en el mismo sitio durante la misma época, puede modificarse entre años según la temperatura prevaleciente durante la etapa inductiva (Andrade *et al.*, 1996).

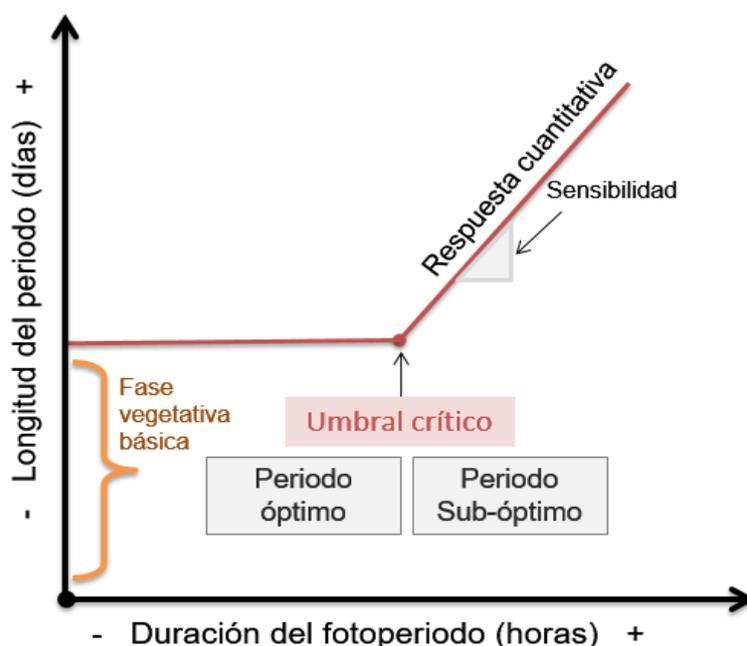


Figura 2.2. Esquema de la respuesta del desarrollo físico al fotoperíodo mostrando respuestas cualitativas y cuantitativas para una especie de días cortos (maíz). Adaptado de Otegui *et al.* (2003)

Bibliografía

- Afuakwa J.J., Crookston R. & Kent Jones R.J. *Effect of Temperature and Sucrose Availability on Kernel Black Layer Development in Maize*. Crop Science 24:285-288.
- Andrade F.H., Cirilo A.G., Uhart S.A. & Otegui M.E. (1996). *Crecimiento del cultivo*. En: Ecofisiología del cultivo de maíz. EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Editorial La Barrosa. Dekalb Press. Buenos Aires. 292 pp.
- Andrade F. H. & Sadras V. O. (2002). *Bases para el manejo del maiz, el girasol y la soja*. 443 pp.
- Bassetti P. & Westgate M.E. (1993). *Senescence and receptivity of maize silks*. Crop Science 33:275-278.
- Bonhomme R., Derieux M., Kiniry J.R., Edmeades G.O. & Ozier Lafontaine H. (1991). *Maize leaf number sensitivity in relation to photoperiod in multilocation field trials*. Agronomy Journal 83:153-157.
- Bonhomme R., Derieux M. & Edmeades G.O. (1994). *Flowering of diverse maize cultivars in relation to temperature and photoperiod in multilocation trails*. Crop Science 34:156-164.
- Calder D.M. (1964). *Inflorescence induction and initiation in the Gramineae*. En: Grasses and Grasslands. C. Barnard (Ed.). 59-87.
- Cirilo A.G. (1994). *Desarrollo, crecimiento y partición de materia seca en cultivos de maíz sembrados en diferentes fechas*. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 86 pp.
- Cross H.Z. (1975). *Diallel analysis of duration and rate of grain filling of seven inbred lines of corn*. Crop Science 15:532-535.
- Ellis R.H., Summerfield, R.J., Edmeades, G.O. & Roberts, E.H. (1992). *Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize*. Crop Science 32:1225-1232.
- Fischer K.S. & Palmer, F.E. (1984). *Tropical maize*. En: The physiology of tropical field crops. P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.). pp. 213-248.
- Gardner F.P., Pearce R.B. & Mitchel. R.L. (1985). *Carbon fixation by crop canopies*. En: Physiology of crop plants. Iowa State University Press. pp. 31-57.
- Hunter R.B., Tollenaar M., Breuer C.M. (1977). *Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of a maize (Zea mays L.) hybrid*. Canadian Journal Plant Science 57:1127-1133.
- Jacobs B.J. & Pearson C.J. (1991). *Potential yield of maize. determined by rates of growth and development of ears*. Field Crops Research 27:281-298.
- Jones R.J., Gengenbach B.G. & Cardwell V.B. (1981). *Temperature effects on in vitro kernel development of maize*. Crop Science 21:761-766.
- Jones C.A. & Kiniry J.R. (1986). *CERES-Maize, a simulation model of maize growth and development*. 194pp.
- Kiniry, J.R. Ritchie J.T., Musser R.L., Flint E.P. & Iwig W.C. (1983). *The photoperiod sensitive interval in maize*. Agronomy Journal 75:687-690.

- Kiniry J.R. & Ritchie J.T., (1985). *Shade-sensitive interval of kernel number of maize*. Agronomy Journal 77:711-715.
- Kiniry J.R. & Bonhomme R. (1991). *Predicting maize phenology*. En: Predicting crop phenology. T. Hodges (Ed.). pp. 115-131.
- Manrique L.A. & Hodges T. (1991). *Development and Growth of Tropical Maize at Two Elevations in Hawaii*. Agronomy Journal 83:305-310.
- Miralles D.J. & Slafer G.A. (2001). *Desarrollo, crecimiento y determinación de los componentes del rendimiento*. En: Cuadernillo de actualización técnica de trigo N° 63 8-17. AACREA.
- Nobel P.S., Forseth, I.N. & Long S.P. (1993). *Canopy structure and light interception*. En: *Photosynthesis and Production in changing environment Nordenkampf*. D.O. Hall, J.M. Scurlock, H.R. Bolhar-Nordenkampf, R.C. Leegood & S.P. Long (Eds). pp. 72-112.
- Otegui M.E. (1992). *Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz*. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. 93 pp
- Otegui M.E. (1995). *Prolificacy and grain yield components in modern Argentinian maize hybrids*. Maydica 40: 371-376.
- Otegui M.E. & Melón S. (1997). *Kernel set and flower synchrony within the ear of maize*. I- Sowing date effects. Crop Science 37:441-447.
- Ritchie J.T. & Hanway J.J. (1982). *How corn plant develops*. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N°48.
- Ritchie J.T. & NeSmith D.S. (1991). *Temperature and crop development*. En: Modeling plant and soil systems. J. Hanks & J.T. Ritchie (Eds.). Agronomy Monograph 31:5-29.
- Rood S.B. & Major D.J. (1980). *Responses of early corn inbred to photoperiod*. Crop Science 20:679-682.
- Sadras V.O., Hall A.J. & Schlichter T.M. (1985). *Kernel set of the uppermost ear in maize: I. Quantification of some aspects of floral biology*. Maydica, 30:37-47.
- Sinclair T.R., Bennett J.M., & Muchow R. C. (1990). *Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize*. Crop Science 30:690-693.
- Tollenaar M., Daynard T.B., & Hunter R.B (1979). *Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize*. Crop Science 19:363-366.
- Tollenaar M. & Bruulsema T.W. (1988). *Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf-area expansion*. Agronomy Journal 80:580-585.
- Warrington I.J. & Kanemasu E.T. (1983). *Corn growth response to temperature and photoperiod. II Leaf initiation and leaf-appearance rates*. Agronomy Journal 75: 755-761.

CAPÍTULO 3

Maíz: época y densidad de siembra

*María Rosa Simón, Matías Schierenbeck
y Juan Ignacio Dietz*

Época de siembra

Al analizarse la factibilidad de un cultivo en una determinada zona, deben considerarse las restricciones y limitantes que el clima y el suelo ejercerán sobre el mismo y adecuar la época de siembra y el ciclo del cultivar de acuerdo a dichas restricciones. Diversos factores inciden en la época de siembra del maíz. El conocimiento de la respuesta del cultivo a la variación de dicha fecha es importante para estimar los efectos que puede causar un retraso de la misma por factores no previstos o una demora planificada. La época de siembra de maíz está condicionada por la fecha media de última helada, la temperatura del suelo, la ubicación del período crítico y del llenado de grano, la oportunidad de cosecha y otros.

El maíz, para su germinación requiere semilla con buen poder germinativo y vigor (esencial en siembras tempranas en directa que se realiza mediante el test de frío), necesita además una temperatura mínima de 8-10°C a profundidad de siembra, por lo que es necesario asegurarse esa temperatura durante tres días seguidos con tres mediciones diarias. La velocidad de elongación de la radícula y el coleoptile es mayor a alrededor de 30°C y cesa a 9 y 40°C (Blacklow, 1972).

Requiere también humedad, que debe verificarse en distintos sectores del lote, ya que una distribución desuniforme del rastrojo puede generar sectores con diferencias importantes en humedad edáfica, generando desuniformidad en la emergencia. Para la germinación la semilla debe absorber un 30 a 40% de su peso en agua. Necesita también que la semilla esté sana o curada con curasemillas para disminuir la incidencia de enfermedades transmisibles por semilla (*Diplodia* spp ; *Fusarium* spp.; *Macrophomina* spp., *Rhizoctonia* spp.) y de plagas como el gusano blanco y las orugas cortadoras.

Es importante además considerar la sembradora, ya que un sistema dosificador neumático permitirá utilizar calibres desperejados, en tanto que en una con placas es necesario considerar la elección de la placa de siembra, adecuada al calibre de la semilla. La profundidad de siembra oscila entre 2,5 y 5 cm, siembras más profundas implican una mayor susceptibilidad a patógenos presentes en el suelo y semillas y una

excesiva elongación del mesocotile que disminuirá la energía para la germinación y el desarrollo de la plántula.

La época de siembra tradicional en la zona núcleo maicera considera el inicio de las siembras a mediados de setiembre, luego de la fecha media de última helada con temperaturas que oscilan entre 14 y 17 °C para ubicar el período crítico con buena radiación y antes de que se produzca el mayor déficit hídrico (que es entre fines de diciembre y principios de enero) debido a la mayor evapotranspiración potencial asociada al incremento en las temperaturas. Esto asegura la fijación de un alto número de granos y la producción de asimilados en la planta para abastecer el llenado de los granos.

Efecto de la fecha de siembra en el crecimiento y desarrollo

Los atrasos en la época de siembra, luego de comienzos de octubre para dicha zona ubican el periodo crítico en enero. Con el atraso en la época de siembra además, las plantas son expuestas a mayores temperaturas y fotoperíodos más largos. Si bien por el fotoperíodo largo, se reduce la tasa de desarrollo, el aumento de temperatura acelera el desarrollo hacia floración. El efecto térmico prevalece sobre el fotoperíodo y la velocidad de desarrollo a floración aumenta cuando la siembra se retrasa (Major *et al.*, 1975, Bonhomme *et al.*, 1994). En la Fig.3.1. se indica cómo evolucionan las variables climáticas en Tres Arroyos en diferentes fechas de siembra. Además, las bajas temperaturas durante el llenado de grano, tienden a alargar dicho período, aunque limitaciones de fuente fotosintética pueden contrarrestar este efecto (Cirilo & Andrade, 1996).

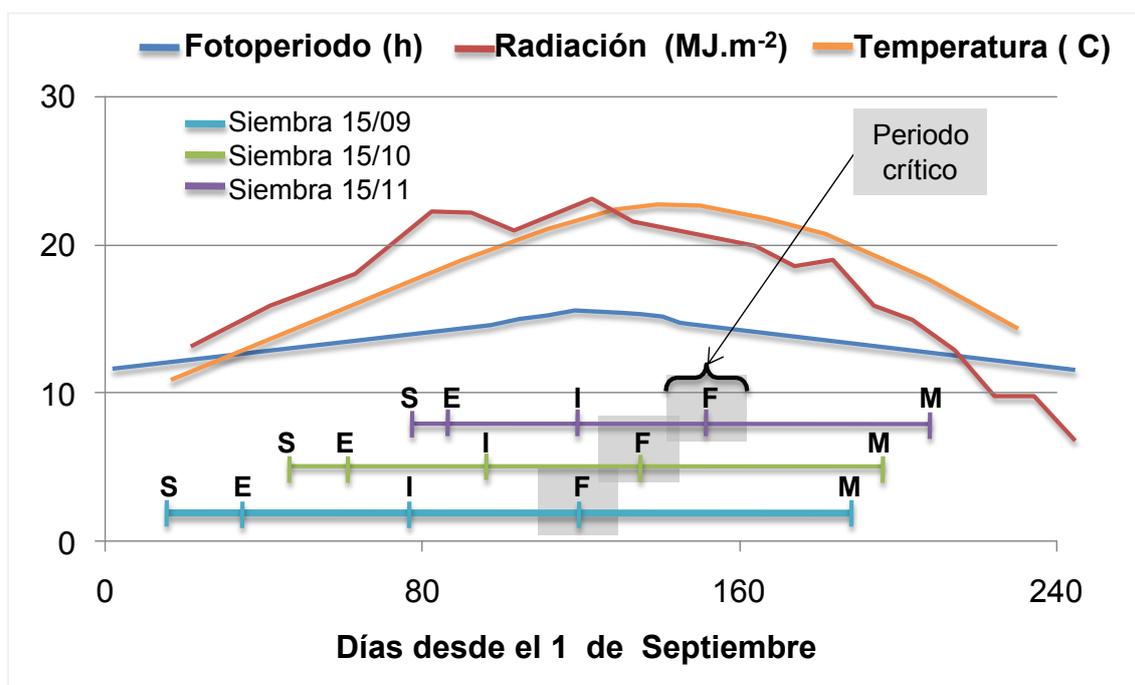


Figura 3.1. Evolución del ciclo de maíces de ciclo intermedio con diferentes fechas de siembra en Tres Arroyos. Fuente: Adaptado de Forján & Manso (2013)

En los maíces sembrados tarde, las mayores temperaturas aceleran la velocidad de aparición y expansión de hojas, permitiendo la instalación de un canopeo capaz de interceptar en forma eficiente la radiación incidente durante la etapa vegetativa. Así, los cultivos demoran 20 a 30 días menos en alcanzar el índice de área foliar crítico que los de siembra temprana, compensando el menor número de días de aprovechamiento de la radiación (Andrade & Cirilo, 2000). Para maíz en Balcarce, la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa durante el período vegetativo se incrementó de 3,3 a 4,2 gr. materia seca. MJ⁻¹ con el atraso de la fecha de siembra de setiembre a diciembre, lo que está asociado con el incremento de la temperatura que condiciona una mayor fotosíntesis (Andrade *et al.*, 1993).

Sin embargo la radiación interceptada por el cultivo a partir de la floración se reduce al atrasar la época de siembra, lo que se hace más evidente a mayores latitudes y cuanto más tardía es la fecha de siembra. Lo mismo sucede en el período de llenado de grano, donde las temperaturas declinantes de las siembras tardías afectan la eficiencia de uso de la radiación. Por lo que siembras tempranas presentan valores de eficiencia de conversión bajos durante la etapa vegetativa y altos durante el llenado de granos, en tanto que los maíces sembrados tarde presentan alta eficiencia de conversión durante la primera etapa y bajas durante el período de llenado. Esto indica que la tasa de crecimiento del cultivo y la biomasa antes de floración aumenta en las siembras tardías, siendo a la inversa luego de la floración (Cirilo & Andrade, 1994a; Andrade & Cirilo, 2000). Asimismo el atraso en la época de siembra produce una aceleración mayor en el crecimiento que en el desarrollo, generando hasta una determinada fecha plantas más altas (Duncan *et al.*, 1973; Cirilo & Andrade, 1994a).

Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento

El atraso en la fecha de siembra desplaza el período crítico hacia momentos con mayor déficit hídrico (cuando la floración cae en enero) por las mayores temperaturas y la floración y llenado de grano coinciden con una menor radiación. Estos efectos se vuelven más notorios a mayores latitudes. El mejor aprovechamiento de la radiación en floración (diciembre) de las siembras tempranas, con elevadas amplitudes térmicas, le permiten al cultivo lograr una alta tasa de crecimiento y fijar un alto número de granos, con un período de llenado que también se produce con alta radiación y buenas temperaturas que conducen a un alto peso de granos, implicando un mayor potencial de rendimiento en siembras tempranas. Además, las siembras tempranas permiten que el cultivo llegue a madurez fisiológica en condiciones de menor humedad ambiental, que favorecen la pérdida de humedad del grano y sin mayores riesgos de heladas tempranas, que puedan producirse antes de la madurez fisiológica. En cambio, las siembras tardías conducen a un menor número de granos por las temperaturas elevadas y menores amplitudes térmicas en la floración (en floraciones de enero) y por menor radiación incidente (Cirilo & Andrade, 1994b). También puede deberse a la gran asignación de recursos a la parte vegetativa (Fisher & Palmer, 1994). Asimismo, el peso de los granos disminuye por la radiación declinante que reduce la duración del llenado por una menor fotosíntesis y menor fuente de asimilados y por las bajas temperaturas que reducen la tasa de llenado (Cirilo & Andrade, 1996).

Criterios actuales de fecha de siembra en maíz

Si bien la época tradicional de siembra de maíz es la de mediados de setiembre a principios de octubre para la zona núcleo maicera, con un retraso hacia el sur y el oeste, actualmente hay un porcentaje importante de siembras muy tardías (diciembre) realizadas con la intención de diversificar la época de siembra. Estos maíces tardíos se siembran en una época posterior a la típica de la zona luego de un prolongado barbecho, a diferencia de los maíces de segunda, que son aquéllos que se siembran luego de un cultivo de invierno para cosecha (trigo, cebada, centeno, legumbres, etc.). Estas siembras tardías se han comenzado a realizar hace algunos años, luego de la aparición de los maíces Bt y otros eventos con resistencia a insectos, dado que con anterioridad en las siembras tardías se producían importantes pérdidas de rendimiento por barrenador del tallo, isoca cogollera e isoca de la espiga. Asimismo, se ha incrementado la variabilidad de las precipitaciones en el mes de diciembre en que se produce la floración de los maíces de siembra temprana en la zona núcleo.

El criterio de la elección de tal época de siembra se basa en la ubicación del período crítico en febrero, en que las precipitaciones tienden a aumentar y la temperatura disminuye causando una menor evapotranspiración potencial y estrés hídrico con respecto a las siembras tempranas cuando en diciembre (período crítico) las precipitaciones son escasas. Estas siembras representan en promedio de varios años una mayor seguridad de cosecha, debido a los años en que en diciembre la cantidad de precipitaciones es escasa y por esa razón se ven perjudicados los cultivos de siembras tempranas. Sin embargo, la radiación en el período crítico en estos cultivos tardíos es declinante y se ven expuestos a los factores ya mencionados durante el llenado de grano. Además, el desplazamiento de la fecha de siembra genera riesgos de heladas tempranas, previo a la madurez fisiológica y dificultades para el secado y la cosecha por la humedad excesiva del otoño. Estos factores condicionan que su rendimiento sea más bajo con respecto a las siembras realizadas en época, en tanto las condiciones ambientales para el crecimiento y desarrollo del cultivo en estas últimas sean las adecuadas.

El atraso en la época de siembra determina también que al momento de la siembra el perfil cuente con una mayor cantidad de agua útil, por un mayor barbecho en meses en que suele haber mayor cantidad de precipitaciones y puede beneficiarse con mayor cantidad de lluvias en marzo para el llenado de grano, en tanto no resulten excesivas. Asimismo como se ha mencionado independiente de la cantidad de lluvias cuando se realizan siembras tardías (diciembre) cae la demanda ambiental y la evapotranspiración potencial en el período crítico disminuye originando un mayor rendimiento con respecto a las siembras tempranas en que en diciembre haya habido escasas precipitaciones (Sackmann, 2010).

El ciclo del maíz se reduce en las siembras tardías y de maíces que pueden tener entre algo menos de 60 y más de 80 días de germinación a floración puede pasar a menos de 60 días para los más largos en siembras de diciembre. Asimismo las temperaturas iniciales son más altas en las fechas de diciembre, haciendo que el período a germinación se acorte y la probabilidad de heladas tardías se reduzca, en tanto que para las fechas tardías es mayor el

riesgo de heladas tempranas en el llenado del grano. El coeficiente fototermal (Q) durante el período crítico también disminuye con el atraso en la época de siembra.

Asimismo, la disponibilidad de N a la siembra es generalmente mayor en siembras tardías, por la mayor temperatura y mayor período de barbecho.

La incidencia de enfermedades también es mayor en siembras tardías, así por ejemplo el mal de Río Cuarto se incrementa porque la población del vector *Delphacodes kuschelli* es mayor en diciembre, de manera que toma a los maíces sembrados en esa época en los estadios iniciales, causando mayor daño y muerte de plantas. También la incidencia de *Exserohilum turcicum* (tizón de la hoja) y *Kabatiella zae* (mancha ocular) es mayor en siembras tardías y también la podredumbre del tallo y de la espiga ocasionadas por *Diplodia maydis*, *Giberella zae*, *Fusarium moniliforme*, *Aspergillus* spp., etc. que afectan especialmente en otoños con alta humedad y precipitaciones, asimismo con estas condiciones puede aparecer brotado, que se castiga en la comercialización como grano dañado. La baja disponibilidad de fuente de asimilados para el llenado de los granos en siembras tardías promueve la removilización de reservas desde la caña, lo que también favorece la incidencia de la podredumbre del tallo y mayor cantidad de plantas volcadas, aumentando las pérdidas de cosecha.

Además, la incidencia del barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*), de la isoca de la espiga (*Heliothis zea*) y la oruga militar tardía o cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se incrementan también en siembras tardías. Así por ejemplo, las poblaciones más prolíficas de *Diatraea saccharalis* se producen hacia fines de enero y febrero (Dagoberto, 1992), de manera que en las siembras tardías toman al maíz cuando aún su tallo no se encuentra lignificado y en un estadio que abarca el período crítico por lo que las pérdidas en rendimiento son mayores que en siembras tempranas. Algo similar ocurre con la isoca de la espiga en que la generación de larvas que se desarrolla en diciembre y enero causa una intensa actividad de adultos en febrero y marzo, afectando en gran medida a los maíces tardíos

Desde la floración en adelante, la caída progresiva en los niveles de radiación incidente diaria en las siembras tardías es más marcada cuanto mayor es la latitud del lugar, acortando la estación de crecimiento para el maíz, y las mermas en rendimiento por retraso de la siembra se hacen más pronunciadas. Mientras que en Pergamino cada demora de un mes en la siembra, entre mediados de setiembre y de enero, produce mermas promedio de 0, 0.6, 1 y 1.3 quintales ha^{-1} por día de retraso, en Balcarce fueron de 0.2, 1.3, 1.4 y 1.6 quintales ha^{-1} , respectivamente (Cirilo & Andrade, 1994b).

Dado que la densidad óptima para un cultivo de maíz varía de acuerdo a la oferta de recursos (de clima y de suelo, naturales o agregados), reduciéndose a medida que empeoran las condiciones de crecimiento, las siembras tardías están asociadas con una menor tolerancia a altas densidades. Las siembras tardías experimentan un mayor crecimiento en los estadios vegetativos y luego exponen su período crítico y llenado de grano a condiciones que resultan adversas, por lo que una alta densidad reducirá su rendimiento. Estas consecuencias serán más notables en mayores latitudes.

Los maíces de segunda tienen el agravante sobre los tardíos de la extracción de nutrientes y agua realizada por el cultivo antecesor. Los efectos negativos del desplazamiento de la floración y el llenado de los granos con el retraso de la siembra serán usualmente mayores, cuanto más largo sea el ciclo del híbrido empleado. En este sentido, el manejo de la densidad de plantas junto a la elección del ciclo del híbrido son dos prácticas que resultará necesario ajustar conjuntamente en siembras de segunda.

Dada la menor expectativa de rendimiento en maíces de segunda, anticipar su siembra es una práctica conveniente que logra adelantar las etapas críticas del cultivo a momentos menos desfavorables. Las prácticas de manejo que permitan adelantar la desocupación del lote (elección del antecesor y su cosecha anticipada) y reducir la demora de la siembra del maíz de segunda (labranza reducida o siembra directa) son estrategias convenientes cuando no existan limitantes hídricas (sequías estacionales) que condicionen dicha anticipación.

Si bien los rendimientos esperables de los maíces de segunda en la zona núcleo maicera son promisorios, especialmente en siembras anticipadas, existen aspectos desfavorables, entre ellos las siembras de segunda tienen dificultades para el secado del grano obligando al gasto del secado artificial. Además, presentan una mayor incidencia de enfermedades y plagas, como el barrenador del tallo, que exige sembrar maíces Bt o meticoloso control con insecticidas.

Densidad de siembra

La densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo para capturar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la utilización de la radiación solar, del agua y los nutrientes. La densidad óptima es aquella que produce el mayor rendimiento, es decir que el agregado de plantas adicionales no incrementa el rendimiento (Fig. 3.2) y la óptima económica tiene en cuenta el costo de la semilla, es decir convendrá aumentar la densidad hasta el punto en que el valor del rendimiento adicional compense el costo del agregado de semilla. En maíz la densidad puede variar entre alrededor de 45.000 y 90.000 o aún más pl. ha^{-1} a la cosecha. Hay una densidad óptima por ambiente y los valores de densidad óptima son mayores a medida que el ambiente mejora. Lo que en un ambiente de altos recursos puede ser óptimo en otro de menos recursos puede ser excesivo.

Además de la densidad también es necesario considerar la uniformidad. Frente a stands desuniformes aumentan las posibilidades de que las plantas encuentren un exceso o un déficit de recursos. Pueden presentarse desuniformidades espaciales o temporales. Fallas en las sembradoras pueden causar una distribución irregular de las plantas en el surco (desuniformidad espacial), en tanto que el pobre contacto suelo/semilla y la mala preparación y/o baja temperatura, el diferente vigor de las semillas, causan variaciones en la emergencia y desarrollo de las plantas (desuniformidad temporal). Algunos autores han encontrado reducciones de rendimiento con el aumento de desuniformidad (Krall *et al.*, 1977, Nielsen, 2001), en tanto que otros no encontraron diferencias (Daynard & Muldoon, 1983; Liu *et al.*, 2004). La ausencia de incrementos de rendimiento por una disminución de la desuniformidad espacial se debería a que el crecimiento adicional de las plantas con más recursos (con menor competencia) es

compensado con el menor crecimiento de las plantas con menos recursos (con mayor competencia). Esta situación se daría cuando ambos grupos de plantas, a pesar de tener distintas tasas de crecimiento por planta, la magnitud del crecimiento se encuentra en la porción más lineal de la relación tasa de crecimiento por planta/número de granos por planta.

En la región pampeana la densidad de siembra ha aumentado considerablemente debido al incremento en las precipitaciones estacionales y al paquete tecnológico junto con la tolerancia de los híbridos modernos ante cambios en la densidad (Andrade & Abate, 2005). El objetivo del manejo de la densidad es lograr la intercepción del máximo de la radiación incidente y obtener altas tasas de crecimiento, especialmente durante el período crítico.

El rendimiento del maíz tiene poca estabilidad frente a variaciones en la densidad de siembra y es muy sensible a la disminución de recursos por planta alrededor de floración, por lo que la densidad de plantas resulta crítica en este cultivo (Andrade *et al.*, 1996) explicado por los limitados mecanismos de compensación del tamaño del área foliar por planta frente a un número reducido de plantas (Cox, 1996, Doebley *et al.*, 1997), la relativa estabilidad de la tasa de expansión foliar y el número de hojas y la baja capacidad de macollaje que exhiben la mayoría de los genotipos mejorados (Doebley *et al.*, 1997). Otros cultivos como el trigo, el girasol o la soja cuentan con recursos como el macollaje, la expansión foliar y las ramificaciones, respectivamente que les permiten modificar sus valores de área foliar en esas situaciones (Vega & Andrade, 2000). Por esta razón, el maíz tiene una importante respuesta al aumento de la densidad incrementando su biomasa por mayor captura de radiación incidente, en tanto el número de plantas no sea superior al que permite interceptar el 95% de la radiación incidente. Incrementos posteriores, ya no mejorarán la producción total de biomasa, ya que el mayor número de plantas será compensado por la disminución en el peso individual de las mismas. Asimismo, el rendimiento también es poco estable ante variaciones en la densidad de plantas comparado con otros cultivos (Cirilo, 2002).

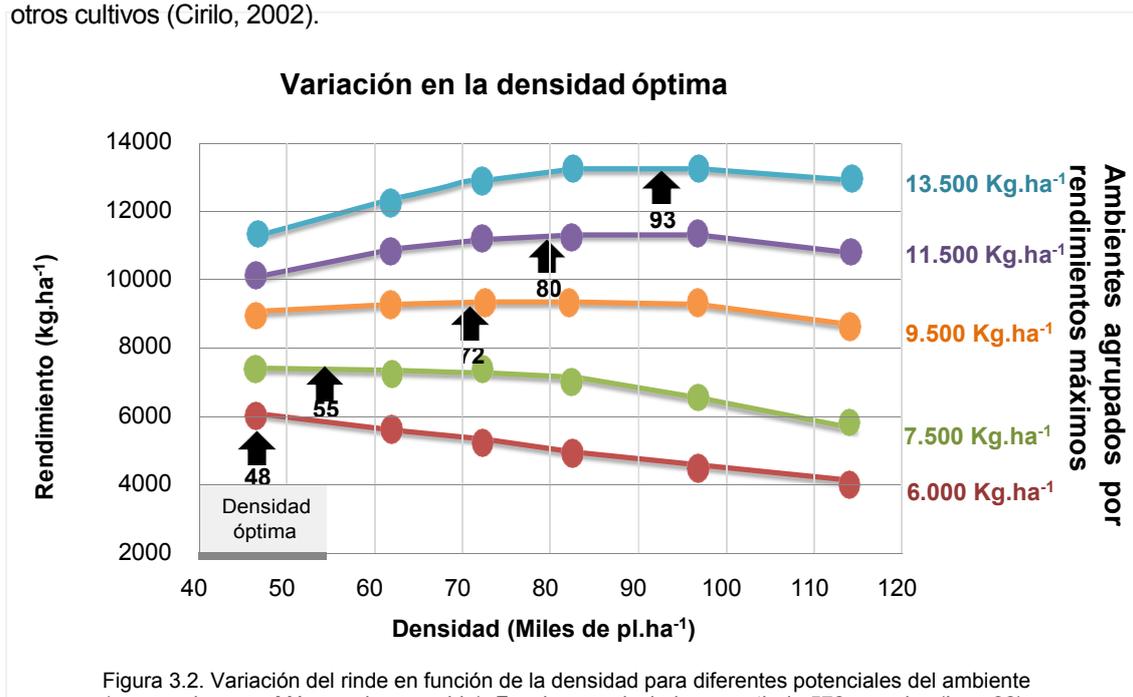


Figura 3.2. Variación del rinde en función de la densidad para diferentes potenciales del ambiente (expresado como Máx. rend. esperable). Funciones calculadas a partir de 578 parcelas (Loc=38). Fuente: Adaptado de Criadero Pioneer (2008)

Incidencia de la densidad de plantas en la producción de materia seca y el rendimiento en grano

La producción de materia seca por unidad de área se incrementa con el aumento en la densidad de plantas siguiendo una relación asintótica, luego de una determinada densidad, el aporte de plantas adicionales se compensa por la reducción en el peso individual de las mismas por incremento de la competencia entre ellas (Andrade *et al.*, 1996) (Fig. 3.3 A y B).

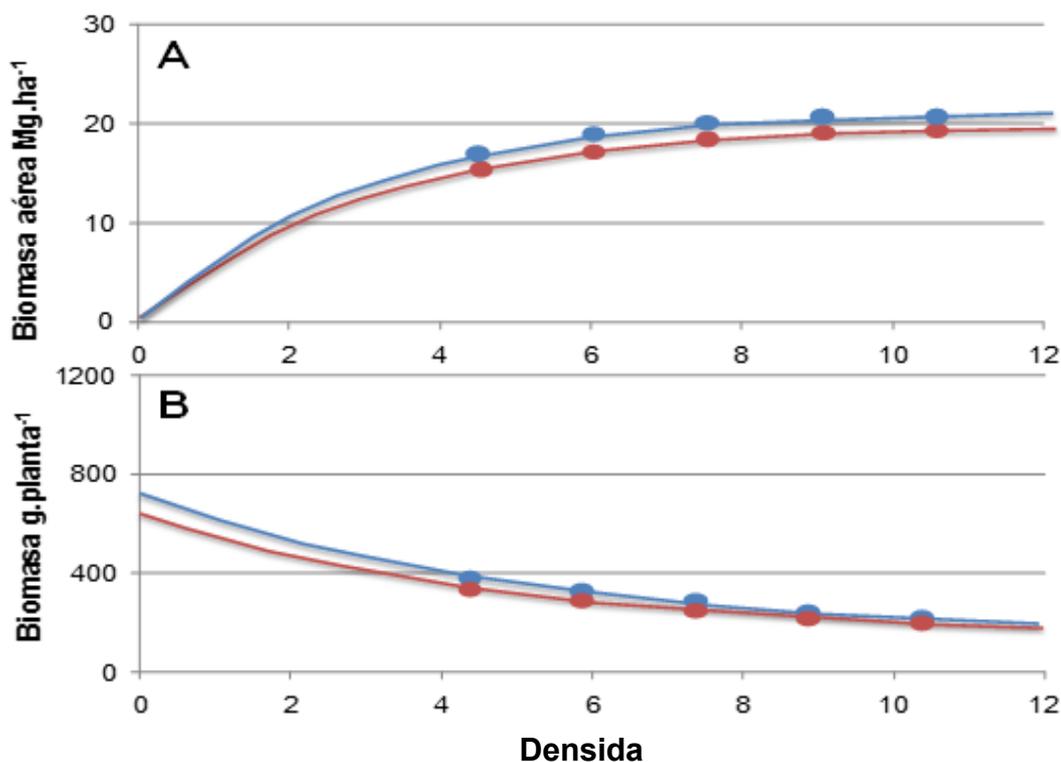


Figura 3.3. **A.** Producción de biomasa aérea total.ha⁻¹ en función de la densidad de plantas. **B.** Producción de materia seca por planta en función de la densidad de plantas Fuente: Adaptado de Cusicanqui & Lauer, (1999) y Overman & Scholtz (2011)

Cuando se producen aumentos en la densidad de plantas, el área foliar por planta disminuye, pero el índice de área foliar del cultivo se incrementa hasta una determinada densidad, ya que la reducción del área foliar de cada planta es de menor magnitud que el aumento en la cantidad de plantas, lo que da mayor cantidad de hojas por unidad de superficie. En cuanto al rendimiento, en tanto el rendimiento por planta disminuye con el aumento de la densidad, el rendimiento del cultivo se incrementa hasta un máximo, a partir del cual los aumentos posteriores en el número de individuos lo reducen marcadamente (Fig.3.4 A). Las reducciones en el rendimiento que se producen en maíz ante cambios en la densidad son mucho más importantes que en cultivos como trigo, girasol o soja (Andrade *et al.*, 1996).

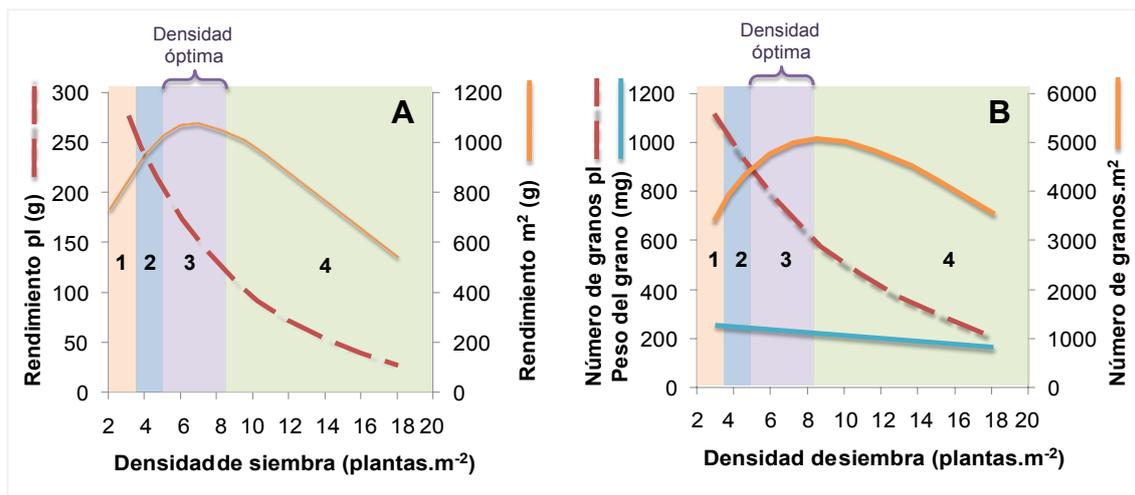


Figura 3.4. **A.** Variación del rendimiento por planta y por unidad de superficie ante cambios en la densidad de siembra. **B.** Variación de los componentes del rendimiento ante cambios en la densidad de siembra. Fuente: Adaptado de Satorre (2008)

El maíz tiene escasa capacidad para diferenciar estructuras reproductivas adicionales frente al incremento en su tasa individual de crecimiento en densidades bajas (Edmeades & Daynard, 1979). También el número de espiguillas por espiga no se incrementa al disminuir la densidad, por lo que en densidades subóptimas, el número de granos puede estar limitado por su capacidad de diferenciar estructuras reproductivas. Los híbridos prolíficos tienen mayor estabilidad en el rendimiento (Prior & Russell, 1975; Andrade *et al.*, 1996). Dichos híbridos tienen mayor capacidad de fijar granos en una segunda espiga. El umbral de tasa de crecimiento por planta para fijar una segunda espiga es alrededor de 6g/día en híbridos poco prolíficos y de 4 g/día en materiales prolíficos (Echarte *et al.*, 1998). Asimismo hay variación entre híbridos actuales y tradicionales en el umbral de tasa de crecimiento para fijar granos (Fig. 3.5 A). Además a medida que disminuye la disponibilidad de recursos por planta por incrementos de la densidad por arriba de un óptimo, hay reducciones marcadas en el número de granos por espiga ante disminuciones en el crecimiento por planta. Esto puede ser el resultado del relegamiento de la espiga en la distribución de asimilados por estar sujeta a la dominancia apical de la panoja (Andrade & Sadras, 2000).

Asimismo, si bien la disminución en la densidad de plantas produce incrementos en el peso del grano, el peso del grano es el componente del rendimiento que menor variación presenta frente a cambios en la oferta de recursos ambientales (Fischer & Palmer, 1984, Kiniry *et al.*, 1990) (Figura 3.4 B).

Cuando la densidad de plantas es superior a la óptima, el maíz puede experimentar importantes reducciones en el rendimiento ya que cae el número de granos por unidad de superficie y también el peso de granos. Las disminuciones en la tasa de crecimiento alrededor de floración, producen marcadas reducciones en el número de granos fijados por planta, que no son compensadas por el aumento en el número de plantas (Andrade *et al.*, 1996).

La reducción en el número de granos se debe tanto al aumento de plantas estériles como a la disminución del número de granos por espiga, discrepando diversos autores en cuanto a la importancia de cada uno de ellos (Daynard & Muldoon, 1983). Las plantas estériles se incrementan al aumentar la densidad por la posición axilar de la espiga que la relegan en la partición de asimilados y la hacen más susceptible a condiciones que provoquen una disminución de recursos por planta, por lo que el maíz necesita un alto valor de biomasa mínima por planta para producir granos (Gardner & Gardner, 1983).

De esta manera la reducción en el número de granos por espiga en densidades altas puede deberse al menor número de flores diferenciadas en la inflorescencia femenina previo a la floración, a una pobre fecundación (por protandria o falta de viabilidad de polen) o al aborto de granos luego de la fecundación (Andrade *et al.*, 1996). Sin embargo el número de flores por espiga es relativamente constante (Otegui, 1995) y el número de granos en la primera espiga alcanza un plateau como resultado de limitaciones en el número potencial de granos por espiga.

Una alta densidad de plantas acentúa la protandria, este efecto se debe a que la aparición de la panoja sufre un ligero retraso, pero la aparición de estigmas se demora más. La reducción del suministro de asimilados por planta que resulta de una baja densidad, produce aborto en el extremo apical de la espiga (Reddy & Daynard, 1983). En general los híbridos prolíficos tienen mayor estabilidad en el número de granos de la espiga superior, por su capacidad de ajuste basada en la pérdida de la segunda espiga (Otegui, 1995). Plantas androestériles o con despanojado manual rinden usualmente más que las androfértiles ante elevadas densidades (Poey *et al.*, 1977, Frugone *et al.*, 1994). La acentuación de la protandria, el aborto de granos apicales en el cuaje en condiciones de alta densidad o estrés son evidencias de la dominancia apical alrededor de floración.

Hay una relación curvilínea entre la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico y el número de granos fijados (Tollenaar *et al.*, 1992, Vega *et al.*, 2000). Si la tasa de crecimiento por planta en floración se aproxima a los umbrales de esterilidad las plantas subordinadas (que son aquellas que frente al incremento en densidad crecen menos) abortan sus espigas (Andrade *et al.*, 1996).

Hay variabilidad genética por tolerancia a altas densidades (Russell, 1986, Andrade *et al.*, 1992) (Figura 3.5 B). Las características que condicionan una mayor tolerancia a altas densidades se asocian con: tener una mayor sincronía floral, una menor jerarquización de tamaños entre plantas, panojas pequeñas, mantener altas tasas de crecimiento por planta en floración en altas densidades, un menor peso umbral de tasa de crecimiento por planta para producir grano a través de una mayor partición de asimilados hacia la espiga, fijar un alto número de granos por unidad de tasa de crecimiento en floración en altas densidades por la mayor cantidad de flores diferenciadas por espiga.

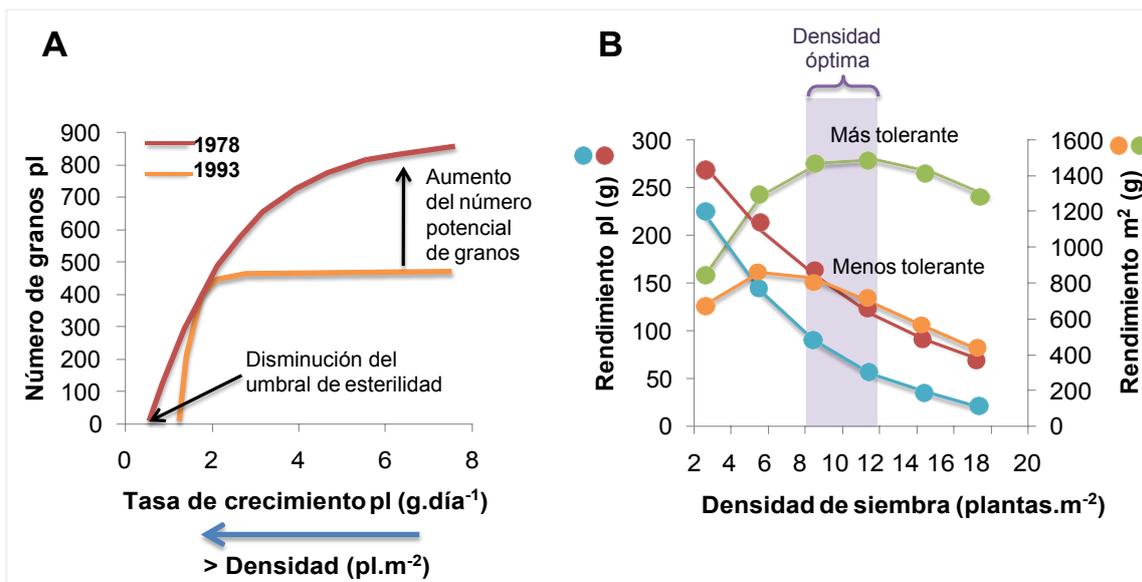


Figura 3.5. **A.** Número de granos por planta en función de la tasa de crecimiento por planta alrededor de floración en dos híbridos de maíz de distinta época de liberación en el mercado argentino. **B.** Rendimiento por planta y por unidad de superficie en función de la densidad de siembra de dos híbridos de maíz con distinto grado de tolerancia a la densidad de siembra. Fuente: Adaptado de Echarte *et al.* (2004) y Pagano & Maddonni (2007)

Pagano & Maddonni (2007) determinaron que existen interacciones genotipo × ambiente para el grado de tolerancia a la densidad de siembra encontrando mayores diferencias en tolerancia en los ambientes de mayor potencialidad.

Factores que modifican la densidad de siembra

Ante escenarios de baja disponibilidad hídrica, una menor densidad de siembra produce un uso conservativo del agua durante el período vegetativo al reducir la cobertura vegetal y dirigir una mayor proporción de radiación hacia la superficie seca del suelo, más resistente a la pérdida de agua que el cultivo (Alessi & Power, 1976), lo que puede aumentar la disponibilidad de agua en etapas reproductivas en aquellos sistemas sometidos a sequías progresivas y severas y que dependen del agua de reserva en el suelo (Andrade & Sadras, 2000).

Igualmente, en buenos ambientes (sin limitantes hídricas y buen manejo nutricional y sanitario) los mayores rendimientos se obtienen con densidades altas. En ambientes pobres, es conveniente utilizar densidades moderadas, porque las pérdidas de rendimiento por el uso de densidades supraóptimas en años secos, es generalmente mayor que el potencial de rendimiento no explotado por utilizar densidades subóptimas en los años de buena disponibilidad hídrica. Cuando los recursos son limitantes, la tasa de crecimiento por planta alrededor de floración es baja y la proporción de plantas con aborto de espigas y granos puede ser alta, por lo que una menor densidad aumenta los recursos por individuo y por lo tanto el número de granos fijados (Andrade & Sadras, 2000).

En cuanto a la fecha de siembra, los retrasos en la misma aceleran más el crecimiento que el desarrollo en etapas vegetativas, lo que origina plantas de mayor tamaño en floración

(Cirilo & Andrade, 1994a). Además el período crítico ocurre en condiciones de menor irradiancia que en las siembras tempranas (Cirilo & Andrade, 1994b) lo que reduce la tolerancia al aumento en la densidad de plantas. Además el período crítico y el llenado de grano pueden coincidir con condiciones ambientales más adversas que en siembras tempranas. Por estas razones, la densidad disminuye al atrasar la época de siembra.

Como se ha señalado previamente los cultivares también manifiestan variabilidad para tolerancia a altas densidades y en general híbridos de ciclo corto que tienen menor área foliar, presentan densidades óptimas más altas.

Distanciamiento entre hileras

El menor distanciamiento entre hileras (52 cm en lugar de 70 cm) permite una mayor equidistancia en la distribución de las plantas y permite cubrir mejor el suelo e interceptar la radiación desde etapas tempranas del cultivo aumentando la biomasa (Andrade *et al.*, 1996; Cirilo, 2000). En densidades bajas, la reducción de la distancia entre surcos contribuye a asegurar una mayor cobertura en floración. Al reducirse la superposición de hojas sobre el surco, el área foliar mejora su eficiencia de cobertura y se reduce la cantidad necesaria para máxima intercepción de la radiación (Flénet *et al.*, 1996; Maddoni *et al.*, 2001). Sin embargo en la mayoría de los cultivos de maíz bien manejados y con densidades correctas y más aún en planteos de alta producción, se alcanzan las coberturas necesarias para la máxima intercepción de la radiación antes del inicio del período crítico de floración independientemente del espaciamiento entre los surcos. Por esa razón, las ventajas de reducir la distancia entre surcos por debajo de 70 cm resultan de reducida magnitud o inconsistentes (Cirilo, 2000).

Sin embargo en condiciones en que el estrés hídrico en el período reproductivo, el principal factor determinante de la respuesta al acortamiento de la distancia entre hileras es la cobertura que el cultivo alcanza en el período crítico. Cuando el cultivo sembrado a 70 cm no alcanza a interceptar el 95% de la radiación incidente en dicho período, es probable que el rendimiento se incremente con una reducción de la distancia entre hileras.

Así por ejemplo, las siembras muy tempranas, la siembra directa, la utilización de híbridos de ciclo corto y erectos pueden producir plantas más pequeñas y/o de poca cobertura, por lo que es más probable encontrar respuestas a un menor distanciamiento entre hileras (Andrade *et al.*, 1996). Igualmente cultivos que se desarrollen con deficiencias tempranas de agua o nutrientes o que hayan sufrido heladas en las primeras etapas del cultivo pueden presentar baja cobertura en el período crítico, por lo que se esperan respuestas positivas a la reducción en el distanciamiento entre hileras.

La mayor cobertura por el follaje lograda con un menor espaciamiento entre hileras disminuye la evaporación de agua del suelo, el escurrimiento superficial y la erosión, pero aumenta la eficiencia de intercepción de radiación y puede incrementar la evapotranspiración en la etapa vegetativa, haciendo más severos los efectos de una sequía progresiva en el período crítico (Vega & Andrade, 2000).

También los cultivos de segunda, especialmente en siembras muy tardías con reducción en la densidad pueden responder positivamente a la reducción de la distancia entre hileras por esa menor densidad y las limitantes hídricas y nutricionales. Sumado a esto, la utilización de híbridos de ciclo corto puede conducir a una mejor respuesta a la siembra en surcos estrechos (Cirilo, 2000).

La siembra en surcos estrechos puede además contribuir favorablemente al control de malezas en el entresurco, al anticipar la cobertura del suelo, limitando el crecimiento de las malezas por sombreado (Murphy *et al.*, 1996). Esto puede reducir el costo de control químico de las malezas (Mickelson & Renner, 1997).

Bibliografía

- Alessi J. & Power J.F. (1976). *Water use by dryland corn as affected by maturity class and plant spacing*. Agronomy Journal 68:547-550.
- Andrade F.H., Margiotta F., Martinez R., Heiland P., Uhart S.A., Cirilo A.G. & Frugone M. (1992). *Densidad de plantas en maíz*. Boletín Técnico N°108. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. 32pp.
- Andrade F.H., Uhart S.A. & Cirilo A.G. (1993). *Temperature affects radiation use efficiency in maize*. Field Crops Research 32:17-25.
- Andrade F.H., Cirilo A.G., Uhart S.A. & Otegui M.E. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa. 292 pp.
- Andrade F.H., Aguirrezabal L.A. & Rizzalli R.H. (2000). *Crecimiento y rendimiento comparados*. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade & V.O. Sadras (Eds.). Editorial Médica Panamericana S.A. pp. 57-96.
- Andrade F.H. & Cirilo A.G. (2000). *Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos*. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade & V.O. Sadras (Eds.). Editorial Médica Panamericana S.A. pp. 137-156.
- Andrade F.H. & Abate P.E. (2005). *Response of maize and soybean to variability in stand uniformity*. Agronomy Journal 97:1263-1269.
- Blacklow W.M. (1972). *Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of Corn (Zea mays L.)* Crop Science 12:647-650.
- Bonhomme R., Derieux M., Edmeades G.O. (1994). *Flowering of diverse maize cultivars in relation to photoperiod in mullocation field trials*. Crop Science 34: 156-164.
- Cirilo A.G. & Andrade F.H. (1994a). *Sowing date and maize productivity: I. Crow growth and dry matter partitioning*. Crop Science 34:1039-1043.
- Cirilo A.G. & Andrade F.H. (1994b). *Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination*. Crop Science 34:1044-1046.
- Cirilo A.G. & Andrade F.H. (1996). *Sowing date and kernel weight in maize*. Crop Science 36:325-331.

- Cirilo A.G. (2000). *Distancia entre surcos en maíz*. Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino 4:19-23.
- Cirilo A.G. (2002). *Criterios para la elección de la densidad y distribución de plantas en el cultivo de maíz*. En: *Guía Dekalb del cultivo de maíz*. E. Satorre (Ed.). pp. 44-55.
- Claasen M.M. & Shaw R.H. (1970). *Water deficit effects on corn. II Grain components*. Agronomy Journal 64:652-655.
- Cox W.J. (1996). *Whole plant physiological and yield responses of maize to plant density*. Agronomy Journal 88:489-496.
- Cusicanqui J.A. & Lauer J.G. (1999). *Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality*. Agronomy Journal 91:911-915.
- Dagoberto E. (1992). *Barrenador del tallo de maíz, Diatraea saccharalis F.* En : *Manejo integrado de plagas del maíz*. Cuaderno de actualización Técnica N 42. AACREA Buenos Aires. pp. 83-86.
- Daynard T.B. & Muldoon J.F. (1983). *Plant to plant variability of maize plants grown at different densities*. Canadian Journal of Plant Science 63:45-59.
- Doebley J.A., Stec A. & Hubbard L. (1997). *The evolution of apical dominance in maize*. Nature 386:485-488.
- Duncan W.G., Shaver D.L. & Williams W.A. (1973). *Insolation and temperature effects on maize growth and yield*. Crop Science 13:187-191.
- Edmeades G.O. & Daynard T.B. (1979). *The development of plant to plant variability in maize at different planting densities*. Canadian Journal of Plant Science 59:561-576.
- Echarte L., Vega C.R., Andrade F.H. & Uhart S.A. (1998). *Kernel number determination in Argentinian Maize Hybrids releases during the last three decades*. En: Taller Internacional. Bases fisiológicas para el mejoramiento del maíz. M.E. Otegui & G.A. Slafer (Eds.). Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. pp. 102-103.
- Echarte L., Andrade F.H., Vega C.R. & Tollenaar M. (2004). *Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and (1993)*. Crop Science 44:1654-1661.
- Ferraris G.N. & Couretot L.A. (2014). *Caracterización y evaluación comparativa de cultivares de maíz en la localidad de Colón (BS AS)*. CAMPAÑA 2013/14. Revista Agromercado N°181.70pp.
- Flenet F., Kiniry J.R., Board J.E., Westgate M.E. & Reicosky D.C. (1996). *Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower*. American Society of Agronomy 88:185-190.
- Fischer K.S. & Palmer F.E. (1984). *Tropical maize*. En: The physiology of tropical field crops. P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.). pp. 213-248.
- Forjan H. & Manso L. (2013). *Maíz: Analizando el momento de sembrar*. Revista Agro Barrow. INTA Barrow 53:4-6.
- Frugone M.I. (1994). *Efecto del despanojado sobre la tolerancia de dos híbridos de maíz a la alta densidad poblacional*. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 67 pp.

- Gardner W.R. & Gardner H.R. (1983). *Principles of water management under drought conditions*. *Agricultural Water Management* 7:143-155.
- Kiniry J.R., Wood C.A., Spanel D.A. & Bockholt A.J. (1990). *Seed weight response to decreased seed number in maize*. *Agronomy Journal* 54:98-102.
- Krall J.M., Esechie H.A., Raney R.J., Clark S., TenEyck G., Lundquist M., Axthelm L.S., Dayton A.D & Vanderlip R.L. (1977). *Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield*. *Agronomy Journal*. 69:797-799.
- Liu W., Tollenaar M., Stewart G. & Deen W. (2004). *Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence*. *Crop Science* 44:847-854.
- Maddoni G.A., Otegui M.E. & Cirilo A.G. (2001). *Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize architecture and light attenuation*. *Field Crop Research* 71:183-193.
- Major D., Johnson D., Tanner J. & Anderson I. (1975). *Effects of daylength and temperature on soybean development*. *Crop Science* 15:174-179.
- Mickelson J.A. & Renner K.A. (1997). *Weed control using reduced rates of postemergence herbicides in narrow and wide row soybeans*. *Journal of Production Agriculture* 10:431-437.
- Murphy S.D., Yakubu Y., Weise S.F. & Swanton C.J. (1996). *Effect of planting patterns and inter-row cultivation on competition between corn and late emerging weeds*. *Weed Science* 44:856-870.
- Nielsen R.L. (2001). *Stand establishment variability in corn*. Purdue University, Dept. of Agronomy Publication 9. 20pp.
- Otegui M.E. (1995). *Prolificacy and grain yield components in modern Argentinean maize hybrids*. *Maydica* 40:371-376.
- Overman A.R. & Scholtz R.V. (2011). *Model of Yield Response of Corn to Plant Population and Absorption of Solar Energy*. *PLoS ONE*, 6, e16117. doi:10.1371/journal.pone.0016117
- Pagano E. & Maddoni G.A. (2007). *Intra-specific competition in maize: Early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking*. *Field Crops Research* 101:306-320.
- Pioneer. (2008). *Respuesta de híbridos de maíz a la densidad de plantas según ambientes*. Boletín Técnico de Pioneer. Buenos Aires, Argentina. 4 pp.
- Poey F.R., Grajeda J.E., Fernandez O.J. & Soto F. (1977). *Effect of detaseling on maize grain yield components*. *Agronomy Abstract*. pp.44.
- Prior C.L. & Russell W.A. (1975). *Yield performance in non prolific and prolific maize hybrids at six plant densities*. *Crop Science* 15:482-486.
- Reddy V.M. & Daynard T.B. (1983). *Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn*. *Maydica* 28:339-355.
- Russell W.A. (1986). *Contribution of breeding to maize improvement in the United States, 1920s- 1980s*. *Iowa State Journal Research* 61:5-34.
- Sackmann M.(2010). *Maíz tardío y de segunda*. Boletín técnico N° 14 Dekalb. 12 pp.
- Satorre E. (2008). *Estructura espacial: respuesta del cultivo a la densidad, distancia entre hileras y uniformidad*. En *Producción de Maíz*. E. Satorre (Ed.). pp. 25-41.

- Tollenaar M., Dwyer L.M. & Stewart D.W. (1992). *Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario*. Crop Science 32:432-438.
- Vega C.R. & Andrade F.H. (2000). *Densidad de plantas y espaciamento entre hileras*. En: *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. F.H. Andrade & V.O. Sadras (Eds.). Editorial Médica Panamericana S.A. pp. 97-133
- Vega C.R., Andrade F.H., Sadras V.O. & Uhart S. (2000). *Seed number as a function of growth a comparative study in soybean, sunflower and maize*. Crop Science 41:748-754.

CAPÍTULO 4

Maíz: Fertilización y rotaciones

Silvina Golik y María Constanza Fleitas

Fertilización

Una adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente cinco a seis hojas desarrolladas), asegura un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada. Para lograr un estado óptimo de desarrollo durante el período crítico, periodo en el cual se define el principal componente del rendimiento: el número de granos por unidad de superficie. Los nutrientes disponibles en el suelo generalmente limitan la producción de maíz, siendo necesario conocer los requerimientos del cultivo para el rendimiento objetivo y la oferta del suelo para determinar las necesidades de fertilización.

En la Tabla 4.1 se muestra la cantidad total absorbida por el cultivo, índice de cosecha y la extracción en los granos, de los macro y micronutrientes para producir una tonelada de grano.

Tabla 4.1. Requerimientos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz

Nutriente	Requerimiento (kg.t ⁻¹)	Índice de Cosecha	Extracción (kg.t ⁻¹)
Nitrógeno	22	0,66	14,5
Fósforo	4	0,75	3
Potasio	19	0,21	4
Calcio	3	0,07	0,2
Magnesio	3	0,28	0,8
Azufre	4	0,45	1,8

Nitrógeno: Dinámica de Absorción, Síntomas de deficiencia

El N llega a las raíces de las plantas, por flujo masal, proceso en el cual en N es transportado en la solución del suelo, siguiendo un gradiente hídrico. La planta lo puede absorber como nitrato y en menor proporción como amonio.

La tasa de absorción de N es baja en los estados iniciales de desarrollo hasta V5-6 (estado de 5-6 hojas desarrolladas según Ritchie *et al*, 1993). A partir de V5-6, la tasa de absorción de N se incrementa marcadamente, con tasa máximas de hasta 3,7 kg N. ha⁻¹.día⁻¹, que se mantienen prácticamente constantes entre los 25 y 120 días, después de la emergencia (Andrade *et al*,

1996). El cultivo puede acumular durante todo su ciclo entre 240 a 300 kg ha⁻¹ en su parte aérea y de ello el 55-60% se acumula en las partes vegetativas hasta los 10-15 días posteriores a la floración (Figura 4.1), para luego ser removilizado hacia los granos en crecimiento. La cantidad que se removiliza va a depender de la relación fuente/destino, ya que cuando existen limitaciones por fuente de fotoasimilados, la energía disponible no es suficiente para la absorción y reducción del N durante el llenado e granos (Andrade et al. 1996), por lo cual hay un incremento el N removilizado de las partes vegetativas del N acumulado previo a floración. Se han reportado valores de removilización entre el 18 y el 42%, dependiendo del híbrido considerado (Uhart & Andrade, 1995; Andrade *et al.*, 1996). De lo que se removiliza la mitad proviene de las hojas y la otra mitad de los tallos (Uhart & Andrade, 1995; Uhart & Etcheverría, 2002). El índice de cosecha de N (ICN), es decir la fracción exportada por el grano, oscila entre el 60 y el 70%.

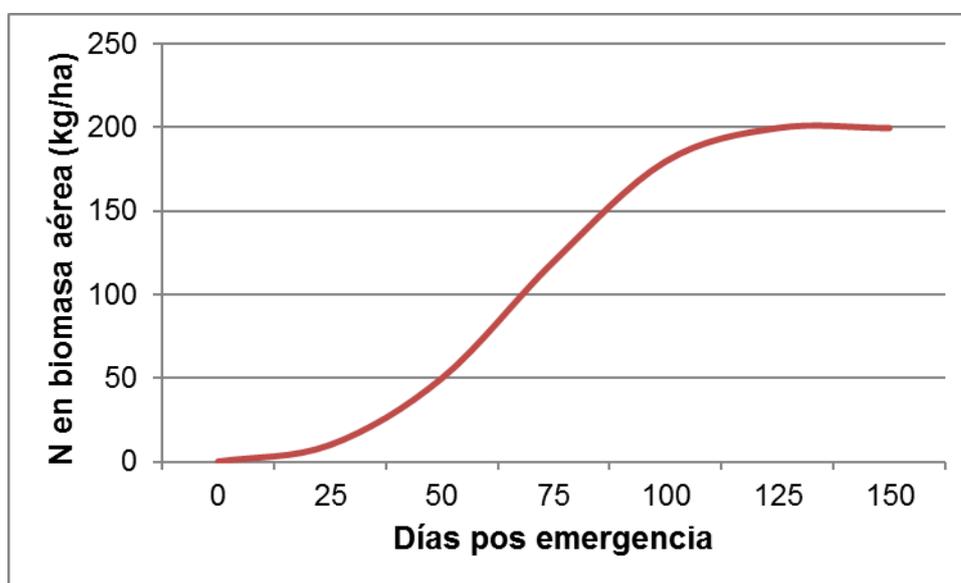


Figura 4.1. Acumulación de nitrógeno en biomasa aérea de maíz.

La falta de N en el maíz hace que las hojas tomen una coloración verde claro a amarillenta en forma de "V", avanzando por la nervadura central desde el apice hacia la base, debido a la merma en el contenido de clorofila. El síntoma de la escasez de N comienza en las hojas basales que removilizan el N hacia las más jóvenes. Existen diferencias entre híbridos en la intensidad del color de las hojas, por lo que se debe tener cuidado cuando se efectúa una comparación entre genotipos (Echeverría & Sainz Rozas, 2005). Las plantas deficientes en N son además más pequeñas, con espigas más chicas y menor rendimiento (Fig.4.2)



Figura 4.2. Síntomas de deficiencia de N en hojas. Fuente: Croissant (2008)

Deficiencia de nitrógeno: crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo

La deficiencia de N afecta el crecimiento, el desarrollo, el rendimiento y la calidad. En situaciones de baja disponibilidad de N el la tasa de crecimiento del cultivo se resiente debido a una menor intercepción de la radiación incidente (eficiencia de intercepción) y la eficiencia con que éste convierte dicha radiación interceptada en materia seca (eficiencia de conversión). Se ha determinado que deficiencias de nitrógeno pueden reducir la tasa de crecimiento del cultivo entre 15 y 59 %. La reducción de la eficiencia de intercepción ante deficiencias de N es debida a una menor área foliar y a una menor duración de la misma. Uhart & Andrade, 1995, han encontrado reducciones del área foliar y duración de la misma de 60 y 65 %, respectivamente. A su vez, la menor área foliar es consecuencia de un menor tamaño de las hojas y no del número de hojas diferenciadas, mientras que la menor eficiencia de conversión se explica por el bajo ritmo fotosintético, producto de un bajo contenido de nitrógeno en la hoja (Novoa & Loomis, 1981). El estrés de nitrógeno provoca retrasos en la fenología del maíz de hasta un máximo de 9 días para las fases vegetativas y de 11 días para la aparición de estigmas y de 8 días en el intervalo entre antesis y aparición de estigmas (Uhart & Andrade, 1995). Las deficiencias de nitrógeno reducen el rendimiento en grano afectando tanto el número como el peso de los mismos. Dentro de los componentes del número de granos, las espigas por planta y los granos logrados por óvulo diferenciado son los más afectados. La mayor parte de la pérdida de granos se debe a fallas

en la fertilización y/o incremento del aborto (32-38%) (Uhart & Andrade, 1995, Andrade et al, 1996). La pérdida de peso de los granos, por falta de nitrógeno, suele variar entre 9 y 25 % y la de rendimiento en grano entre 14 y 80 %. La pérdida de peso de los granos, por falta de nitrógeno, se debe a que afecta la determinación del número de células endospermáticas y gránulos de almidón en postfloración temprana y/o porque disminuye la fuente de asimilados durante el llenado de granos (Uhart & Andrade, 1995). La falta de agua o bien su distribución durante el ciclo del cultivo puede afectar tanto la demanda de nutrientes por el cultivo como la oferta de los mismos por parte del suelo (Echeverría & Sainz Rozas, 2005).

Diagnóstico de la fertilización

El diagnóstico de la fertilización puede realizarse a partir de los contenidos de N disponible en el suelo en distintos momentos, o bien a través del N en la planta. Se deben utilizar indicadores o índices que reflejen el estado nutricional del sistema suelo-cultivo, que a su vez ser accesibles, de bajo costo, brindar resultados reproducibles y de fácil manejo. En general, el estado del cultivo brinda datos más relevantes que el análisis del suelo, porque permite integrar diversos factores como ser: N mineral en el suelo, el clima y manejo del cultivo.

Indicadores de suelo:

Disponibilidad de N-nitratos en pre-siembra

Se basa en la determinación del contenido de nitrógeno mineral del suelo presente a la siembra del cultivo, a profundidades que oscilan entre los 30 y 60 cm, aunque la variación de rendimiento explicada por el N mineral de suelo no aumenta si se incluyen capas del suelo por debajo de los 30 cm. Existe una estrecha relación entre el nitrógeno mineral del suelo de las capas mas profundas y el de los primeros 30 cm. Esta determinación en presiembra es fundamentalmente una medida del nitrato residual, por lo que resulta de utilidad cuando la lixiviación de nitratos en el período previo a la siembra no es de magnitud y la mineralización en el periodo posterior a la siembra no es importante. Alvarez et al, 2001, empleando resultados experimentales de una amplia red de ensayos de la región pampeana, determinaron un umbral crítico de respuesta de 150 kg ha^{-1} (suelo+Fertilizante). Para zonas con alta humedad este método no resulta relevante puesto que al ser el N un elemento muy móvil, gran parte del mismo se pierde por lixiviación, pudiendo no estar disponible para cuando el cultivo lo necesita. En esta metodología no se considera el aporte de N por mineralización, que en suelos con elevados contenidos de materia orgánica puede cubrir una fracción importante de los requerimientos de N del cultivo.

Determinación de N-nitratos en pre-escadillo (V5-V6)

Se basa en la determinación del contenido de N bajo la forma de nitrato en los primeros 30 cm de suelo. Este método representa el N mineral presente a la siembra del cultivo, el aporte por mineralización realizado hasta dicho momento y las pérdidas (desnitrificación, lixiviación, volatilización, etc) ya que la cantidad de N absorbido por el cultivo hasta el estadio de 4 a 5 hojas es muy baja. Puede utilizarse como herramienta para evaluar aplicaciones de N a la siembra e indicar si es necesario el agregado de N adicional en V5-6 (Echeverría & Sainz Rozas, 2005). No obstante, este método puede presentar baja utilidad con determinadas condiciones ambientales, como por ejemplo temperaturas frescas que determinen un bajo nivel de mineralización durante el periodo analizado. Igualmente Binford *et al.* (1992), trabajando en Iowa en suelos similares a los de la región pampeana, reportaron una adecuada correlación entre el rendimiento relativo (RR) y la concentración de N-NO_3^- en los primeros 30 cm. La concentración crítica para alcanzar un RR del 95,8% fue de 25 mg kg^{-1} , con rendimientos máximos que oscilaron entre $10,4$ y $12,6 \text{ t ha}^{-1}$.

En nuestro país, García *et al.*, 1997 y Sainz Rozas *et al.*, 2000, para maíz de secano, con rendimientos promedio de 9000 kg.ha^{-1} , los niveles críticos se ubicaron entre 15 y 17 ppm N-nitratos. Bajo condiciones de riego, con rendimientos de hasta 15000 kg.ha^{-1} , los umbrales críticos se ubican entre 24 y 27 ppm. Una variante para esta metodología fue realizada por Díaz Zorita & Duarte (1997) para el oeste bonaerense. Estos autores encontraron una relación significativa entre los rendimientos y la disponibilidad de N en suelo (0-60 cm) más el N aplicado como fertilizante. Alvarez & Alvarez (2001), con un criterio similar (N suelo, 0-60 cm + N fertilizante al estado de cuatro- seis hojas), trabajando sobre 217 ensayos de la región pampeana, determinaron un umbral económico de 140 kg.ha^{-1} de N.

Análisis de planta

Los análisis de planta entera o de órganos de la planta han sido utilizados como elementos de diagnóstico.

Concentración de N-nitratos en la base de tallos

Esta determinación integra, como todos los análisis en planta, los efectos del suelo y de los factores ambientales. Esta metodología permite evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo en distintos estados de desarrollo, con la posibilidad, en estados tempranos como V4-V7, de realizar un muestreo y análisis rápido y corregir inmediatamente la potencial deficiencia nitrogenada. González Montaner y Di Napoli (1997) indican un nivel crítico de 4500 mg/L para la concentración de nitratos en savia al estado V4-6 en el Sur de Santa Fe. Sin embargo, trabajando en el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires, Ferrari *et al.* (2001) encontraron un nivel crítico, para alcanzar el 90% del rendimiento máximo, del orden de 1439 mg/L de NO_3^- . Trabajos realizados en el sudeste de Buenos Aires mostraron niveles críticos variables entre

años y ensayos de 1200-2400 mg/L NO₃ (Sainz Rozas *et al.*, 2001). La variabilidad observada en los umbrales críticos ha sido adjudicada a diferencias en la humedad del suelo. Las determinaciones en base seca o en estados avanzados (V12, R3, R6) han demostrado una menor variabilidad (Sainz Rozas *et al.*, 2001). En Balcarce, Sainz Rozas *et al.* (2001) reportaron un valor de 800 ppm para el umbral de suficiencia al estado R6. En general la concentración de nitratos se reduce a medida que avanza el ciclo del cultivo. Los órganos de la planta también difieren en la concentración de nitratos, siendo mayor en los tallos que en las hojas. La metodología sirve para predecir las necesidades de fertilización y diferencia entre distintas condiciones de barbecho y cultivo antecesor (gramínea o leguminosa) (Satorre *et al.*, 2004).

Medición del índice de verdor de las hojas utilizando el Minolta SPAD 502

El Minolta SPAD 502 correlaciona con el N de las hojas con el contenido de clorofila, en las gramíneas. Esta a su vez se relaciona estrechamente con la intensidad del color verde y permite determinar el índice de verdor (IV). Las determinaciones tienen la ventaja de que son sencillas, rápidas y no destructivas. Aunque sus determinaciones no resultan totalmente confiables al estado de cinco-seis hojas desarrolladas, ni al final del ciclo del cultivo. Resultan más precisas cuando se realizan alrededor de floración. Debido a que sus mediciones son, también, variables de acuerdo al híbrido considerado, a la presencia de enfermedades foliares, se ha determinado un índice de suficiencia de N (ISN), a fin de relativizar esas limitantes. La normalización de las mediciones se realiza sobre parcelas de referencia que han recibido altos niveles de fertilización.

$$\text{ISN} = \text{Spad lote} / \text{Spad parcela alta fertilización} \times 100$$

Se considera que los valores del índice de suficiencia debe ser entre 0,97-0,98 para lograr el 95% del rendimiento máximo del cultivo.

Concentración de nutrientes en diferentes órganos de la planta

La concentración de N se puede determinar en la biomasa aérea total, en las hojas, tallos o granos. Estos análisis resultan más confiables cuando se realizan cerca de floración, por lo que principalmente sirven para replantear la fertilización para el próximo cultivo, aunque no pueden detectar excesos de N en el suelo. Las determinaciones en estadios vegetativos, V5-V6, no han mostrado correlación con los rendimientos, ni con la concentración de nitratos en suelo. En cambio, la concentración de N en la hoja de la espiga al estadio de R1 se asoció con la dosis de N aplicada y con el rendimiento del cultivo (Etcheverría & Sainz Rozas, 2005). La determinación de la concentración de N en la hoja que envuelve la espiga es la más frecuente. No obstante, también suelen emplearse la determinación en tallo y en grano. Los rangos de suficiencia (que se define como el rango de concentración entre el valor crítico y el

punto en el que se produce toxicidad por exceso del elemento en la planta) de N en hoja en momentos cercanos a la floración, oscilan entre 2,75 y 3,5 %. Uhart & Echeverría, 2002, han hallado valores, para la concentración crítica de N en hoja en V6 y a los 15 días prefloración de de 2,8% y de 2,4%, respectivamente, en tallo a los 15 días prefloración de de 1,3% y en tallo y en grano a la cosecha de de 0,35 y 1,2% de N, respectivamente.

Curvas de dilución de N

Se denomina concentración crítica, a la concentración de N en la planta que permite alcanzar la tasa máxima de crecimiento del cultivo (TCC). Esta concentración tiende a disminuir medida que la planta crece (mayor biomasa) debido a un fenómeno de "dilución". Cuando estas concentraciones son menores a las críticas producen algún grado de estrés y por lo tanto TCC son inferiores a las máximas. Pero, a su vez, el efecto del estrés de N sobre el rendimiento no sólo dependerá de su intensidad sino también del momento en que éste ocurra (Uhart & Echeverría, 2002). Suele determinarse un índice de estrés, que resulta del cociente entre la concentración real y la crítica. Las curvas de dilución pueden llegar a ser específicas para una especie y/o grupo de especies y tener validez para diferentes ambientes.

Recomendaciones de fertilización:

Balance de nitrógeno

Este método considera la oferta y la demanda en el sistema suelo-planta. La demanda esta dada por el rendimiento objetivo para una zona determinada y el nitrógeno absorbido por t de grano, conocido como coeficiente b. El valor de este coeficiente para el maíz es de aproximadamente 20 kg/ha, pero suele variar de acuerdo al híbrido y a la existencia o no de consumo de lujo. Por el otro lado se considera la oferta de nitrógeno, dada por el N disponible a la siembra y N mineralizado durante el ciclo del cultivo (oferta de N), y el N del fertilizante. La dinámica del N en el sistema suelo-planta incluye pérdidas de N disponible por lavado, volatilización y desnitrificación. La estimación de dichas pérdidas resulta difícil de cuantificar en forma empírica, por lo tanto una alternativa es considerar una eficiencia para cada una de las fuentes de N aprovechadas por los cultivos. A los fines prácticos, los valores de eficiencia para el N inicial y el proveniente de los fertilizantes podrían considerarse similares (0,4 a 0,6), mientras que la eficiencia de utilización del N mineralizado es mayor (0,7 a 0,8) (Meisinger, 1984). En general, las necesidades de fertilización nitrogenada se pueden estimar a través del balance de N según la siguiente ecuación:

$$Yb = (N_i * E_i) + (N_{min} * E_{min}) + (N_f * E_f)$$

Donde:

Y: rendimiento esperado; b: nitrógeno requerido por tonelada de granos; N_i = N disponible a la siembra del cultivo (N-nitratos, $N-NO_3$), E_i = Eficiencia de uso del N disponible a la siembra, N_{min} = N mineralizado durante el ciclo del cultivo, $E_{f_{min}}$ = Eficiencia de uso del N mineralizado durante el ciclo del cultivo, N_f = N a aplicar como fertilizante, E_f = Eficiencia de uso del N del fertilizante.

Los aportes de N del suelo (N_i y N_{min}) dependen principalmente de la materia orgánica, textura y estructura del suelo, de factores abióticos como la temperatura y las lluvias y cuestiones de manejo como tipo de labranzas, cantidad y calidad de los residuos del cultivo antecesor. El N_i puede ser estimado a través de un muestreo y análisis de los nitratos disponibles. El N_{min} es mucho más complejo de estimar.

Dentro de las pérdidas, la volatilización del amoníaco se produce por la conversión del amonio a amoniaco (NH_3) y resulta particularmente importante cuando se aplican fertilizantes amoniacales como la urea, con PH elevado, baja capacidad buffer, alta actividad ureásica (muy importante bajo siembra directa), elevada temperatura y rangos de humedad específicos. La desnitrificación es un proceso que ocurre en anaerobiosis y consiste en la reducción de los nitratos a formas gaseosas, principalmente óxido nitroso y N_2 .

Usos de Modelos de simulación

Los modelos de simulación permiten explorar, dentro de sus limitaciones (muchos no consideran a las plagas, enfermedades, malezas, adversidades climáticas como granizo), una amplia gama de situaciones. Integran variables climáticas, edáficas y genéticas al diagnóstico de la fertilización nitrogenada de los cultivos, lo que constituye una ventaja importante sobre los otros criterios de diagnóstico ya que reduce el número y el efecto de "factores no controlados" y permite estimar probabilidades de riesgo para cada alternativa de manejo de N, como asimismo el desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo, generalmente con un paso diario.

Requieren datos de entrada del clima (temperatura, radiación, lluvias), suelo (materia orgánica, perfil, granulometría), diarios; datos del cultivar para determinar los coeficientes genéticos y de las condiciones iniciales de agua y nitrógeno. Estos modelos deben ser calibrados y validados. En base a estos datos, se obtiene información de salida: como por ejemplo fenología, biomasa, rendimiento, componentes del rendimiento. Para el maíz uno de los primeros modelos utilizados fue el CERES MAIZE (GECER), para fertilización nitrogenada (Uhart & Etcheverría, 2002).

Uso de sensores remotos

Los sensores remotos comenzaron a utilizarse en Estados Unidos y Europa, para diferenciar áreas deficientes en N y permitir su aplicación de dosis variables. El N-Sensor

realiza mediciones de reflectancia del cultivo y prescribe dosis de aplicación variable de N en tiempo real. Estas mediciones se correlacionan con el rendimiento. El manejo de sitio específico permite obtener mayores rendimientos que el manejo de dosis uniformes y, a igual dosis de aplicación, mejora la eficiencia de uso del N aplicado (kg de maíz por kg de N). Se determina un índice de respuesta al N (IR) mediante la relación entre el índice normalizado de diferencias de vegetación (INDV) que estima el rendimiento potencial, de un lote sin limitaciones y el del lote a caracterizar.

También, se pueden usar fotografías aéreas para caracterizar ambientes con distintas disponibilidades de N en maíz. Urricarriet & Zubillaga (2001) demostraron la utilidad de fotos aéreas para diferenciar sitios con disponibilidad variable de N al estado de grano pastoso (R4) (García 2002).

Momento de aplicación

La demanda de N del maíz se incrementa marcadamente a partir de V5-V6 (30-50 días después de la emergencia), por ello, la aplicación del mismo se realiza en ese estado del cultivo o inmediatamente antes, de modo de lograr la de mayor eficiencia de uso de N. La eficiencia de estas aplicaciones tempranas depende de la cantidad y frecuencia de las lluvias entre la aplicación y la absorción de N por el cultivo, ya que durante ese lapso se que pueden originar pérdidas por lavado y/o desnitrificación e inmovilización microbiana. Ferrari *et al.* (2001) encontraron diferencias para el momento de aplicación entre tipos de suelo, que fueron atribuidas a una mayor pérdida de nitratos por lixiviación entre siembra y V6 en los Hapludoles que en los Argiudoles.

Fuentes y forma de aplicación

Existen numerosas fuentes de fertilización nitrogenada y pueden dividirse en tres grupos: amoniacales (urea, amoníaco anhidro, sulfato de amonio); nítricos (nitrato de potasio) y nítrico-amoniacales (nitrato de amonio, nitrato de amonio calcáreo (CAN), urea-amonio-nitrato (UAN), sulfonitrato de amonio (Tabla 4.1). Su eficiencia de su uso es similar cuando son incorporados. Pero, las aplicaciones superficiales de N pueden provocar pérdidas por volatilización de amoníaco principalmente cuando se utiliza urea o fuentes que contengan urea (Sainz Rozas *et al.*, 1999; Urricarriet *et al.*, 2000). Las pérdidas por volatilización se incrementan con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo y temperaturas de 25°C o superiores, bajo SD por la alta actividad ureásica de los residuos, ph neutro, suelos de bajo poder buffer; en estos casos se recomienda el empleo de fuentes como CAN o UAN. Se ha encontrado que los efectos sobre el rendimiento de las pérdidas temporarias de N debidas a la intercepción del

fertilizante por el residuo y/o a la inmovilización microbiana en aplicaciones superficiales de fertilizantes nitrogenados sobre el rastrojo en SD, pueden ser de igual o mayor magnitud que las pérdidas por volatilización.

Tabla 4.1. Fuentes de fertilización nitrogenada

Fuente de N	Fórmula qca	N %
Amoníaco anhidro	NH ₃	82
Nitrato de amonio	NH ₄ NO ₃	33,5
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	21
Fosfato diamónico	(NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄	18-21
Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	11
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂	15
Nitrato de potasio	KNO ₃	13
Nitrato de sodio	NaNO ₃	16
Urea	CO(NH ₂) ₂	46
Urea-Amonio nitrato (UAN)	CO(NH ₂) ₂ + NH ₄ NO ₃	32

Fósforo

Este nutriente llega a las raíces por difusión, al igual que el potasio y es absorbido como ión ortofosfato (P₂O₅) o fosfato mono o diácido contra un gradiente electroquímico, por lo que la absorción es activa, con gasto de energía. No necesita ser reducido para su asimilación, integrándose rápidamente a compuestos orgánicos (en menos de 10 minutos el 80% del fósforo absorbido pasa a formar parte de los mismos)

Dependiendo del nivel de rendimiento, el maíz puede acumular entre 50 y 70 kg P.ha⁻¹ en biomasa aérea. El comienzo de las máximas tasas de acumulación (0,9 – 1,4 kg.ha⁻¹.día⁻¹) se produce algo más tarde en comparación con el N, recién a los 40 días y se mantienen casi constantes hasta la madurez del cultivo (Andrade *et al.*, 1996). Esta demora se puede atribuir a que este nutriente alcanza la superficie de la raíz como ya dijimos por difusión, proceso que es favorecido fundamentalmente por el desarrollo radical, y por elevada temperatura y contenido de agua del suelo. Por lo tanto, para que el P no limite el crecimiento del cultivo debe estar disponible a la siembra o inmediatamente después de la misma. La reducida movilidad de ión ortofosfato y la retención (fijación, adsorción) especialmente en suelos con bajo contenido de fósforo, hacen necesario la aplicación localizada del mismo. Sin embargo, Mallarino (2001), en ensayos realizados bajo SD se ha encontrado eficiencias de uso del P aplicado, similares para aplicaciones al voleo anticipadas, y aplicaciones en bandas a la siembra.

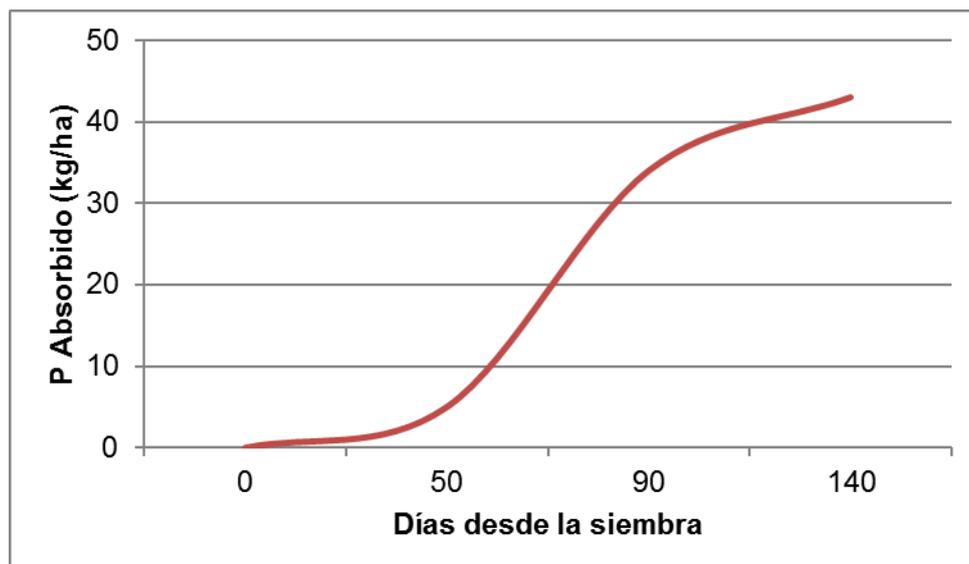


Figura 4.3. Acumulación de fósforo en un cultivo de maíz sin fertilizar y fertilizado con 100 kg/ha de fosfato diamónico.

El P en biomasa aérea en floración representa aproximadamente el 50% del P acumulado a madurez (Andrade *et al.*, 1996), porcentajes algo menores a los del N. El índice de cosecha de P (ICP) es superior al del N y varía desde el 70 hasta el 80%, lo que indica una alta removilización desde estructuras vegetativas hasta reproductivas (Fig. 4.3).

Deficiencias de P disminuyen el crecimiento del maíz a través de reducciones en el desarrollo y expansión foliar y en la fotosíntesis, por lo cual la radiación interceptada es menor. En cultivos deficientes en P la máxima área foliar y el tiempo para alcanzarla se redujeron en un 16 y 6%, respectivamente (Colomb *et al.*, 2000).

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Entre los factores del suelo, se destacan la textura, la temperatura, el contenido de materia orgánica, el pH, la capacidad buffer (resistencia a cambiar la concentración de equilibrio del fósforo), tortuosidad de los poros (aumenta a partir de una densidad aparente mayor de 1,3 g/cm³) y presión de oxígeno; mientras que entre los factores del cultivo deben mencionarse los requerimientos y el nivel de rendimiento. El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial utilizando un extractante adaptado a los suelos del área en evaluación. En la región pampeana, en general, el extractante utilizado es Bray y Kurtz 1.

La dosis recomendada (Tabla 4.2) dependerá del nivel de P Bray, del rendimiento esperado, de la relación de precios grano/fertilizante, y del criterio de recomendación del laboratorio y/o asesor. Existen dos criterios de recomendación: el de suficiencia y el de reconstrucción y mantenimiento. El criterio de suficiencia satisface los requerimientos del cultivo, mientras que el de reconstrucción y mantenimiento también incluye aportes adicionales para mejorar el nivel de P disponible en el suelo (Uhart & Etcheverría, 2002).

Rendimiento t.ha ⁻¹	Concentración de P disponible en el suelo (mg/kg)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
	kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹						
5	59	48	43	39	35	30	
6	65	54	50	45	41	37	26
7	71	60	56	51	47	43	32
8	77	66	62	57	53	49	38
9	83	72	68	63	59	55	44
10	89	78	74	70	65	61	50
11	95	84	80	76	71	67	56
12	101	90	86	82	77	73	62
13	107	97	92	88	83	79	68
14	114	103	98	94	90	85	74

Tabla 4.2. Recomendaciones de fertilización fosfatada para maíz según nivel de P Bray y Kurtz I y rendimiento esperado. Adaptado de Echeverría & García (1998)

Los síntomas de su deficiencia aparecen en las hojas basales, puesto que el P es un elemento móvil dentro de la planta. La falta de P disminuye la traslocación de asimilados, acumulándose azúcares en hojas y tallos, los que generan antocianinas, que son los pigmentos que producen las tonalidades morado o púrpuro en hojas y tallos en plantas con deficiencia de este nutriente (Fig. 4.4). La tonalidad depende del híbrido y puede desaparecer cuando la planta llega a floración.



Figura 4.4. Síntomas de deficiencia de P en hojas. Fuente: Croissant (2010)

El análisis de planta es poco usado como elemento de diagnóstico de la fertilización fosfatada, debido a que generalmente se determina tardíamente, por lo que esta determinación sirve principalmente para efectuar cambios en cultivos posteriores. Fontanetto (1993) reportó concentraciones críticas de P de 0.26% en biomasa aérea en V8, 0.25% en la última hoja desarrollada en V10, 0.24% en la hoja de la espiga en floración, 0.29% en la hoja de la espiga a madurez fisiológica y 0.29% en los granos a cosecha, en el SE de Buenos Aires. Ambrogio *et al.* (2001) para ensayos realizados en la campaña 2000/01 en la región pampeana, encontraron concentraciones de P en la hoja de la espiga a floración superiores a 0.28%, para rendimientos superiores a 9000 kg.ha⁻¹.

Entre las fuentes de P, los fosfatos diamónico y monoamónico tienen la ventaja sobre el superfosfato triple de presentar N-amonio en su composición, lo que mejoraría el efecto arrancador del fertilizante. No obstante, estas diferencias entre fuentes fosfatadas no suelen ser representativas a campo (Ventimiglia *et al.*, 2001).

Azufre

Es un nutriente móvil en el suelo y la planta lo absorbe como ión sulfato. Es provisto en forma natural por la materia orgánica del suelo. Posee una dinámica de acumulación similar a la del N, pero a diferencia de aquel, el S no es removilizado desde las estructuras vegetativas, y por lo tanto, todo el S del grano proviene exclusivamente de la absorción durante el período de llenado. El maíz requiere absorber 3-3,5 kg de azufre por tonelada de grano. En suelos arenosos y bajo contenido de materia orgánica se recomienda la aplicación de 10-15 kg.ha⁻¹.

En la región pampeana se encuentra respuesta a su aplicación en los llamados ambientes deficientes caracterizados por: suelos con bajo contenido de materia orgánica, altos niveles de erosión y compactación, intensa y prolongada historia agrícola sin reposición de nutrientes, bajo aporte de rastrojos y siembra directa. También se observa respuesta cuando se han cubierto las deficiencias de los otros nutrientes, principalmente N y P (nutrición desbalanceada). En la zona Oeste de Buenos Aires, las respuestas a este nutriente se asocian al bajo nivel de materia orgánica del suelo (<2-2,5%) y baja disponibilidad de S, y a los elevados rendimientos de los últimos años (Díaz Zorita, 1998; Ventimiglia *et al.*, 2001). En la zona Norte de Buenos Aires, las respuestas se observan en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada (Fontanetto *et al.*, 1999; Cordone *et al.*, 2001; Di Napoli, 2001).

En general, el diagnóstico de fertilización azufrada se realiza como S-sulfatos en suelo a la siembra, con resultados dispares. Generalmente se considera como umbral crítico 10 ppm de azufre como sulfato en el suelo (Tabla 4.3).

Las deficiencias de S provocan tonalidades verde claro o verde amarillentas con una leve clorosis internerval. La clorosis se manifiesta en las hojas superiores, debido a la menor movilidad de este nutriente con respecto al N. Otros síntomas característicos de la deficiencia de S son el retraso en la senescencia y el menor crecimiento del maíz.

Tabla 4.3. Niveles de suficiencia de azufre (S) en el suelo para el cultivo de maíz. Adaptado de Darwich (1998)

Nivel de S en el suelo	Sulfatos Ppm	S orgánico Ppm	Recomendación
Deficiente	<6	<10	Fertilizar con S
Adecuado	7-12	10-20	Dosis de mantenimiento Mant.
Optimo	>12	>20	Reducido o no aplicar

Potasio

Es un elemento poco móvil en el suelo y llega a las raíces por difusión. Se acumula en el cultivo alcanzando en floración hasta un 85% del total que tendrá a cosecha, con elevadas tasas de absorción durante los 15 a 20 días previos a la floración, pero su índice de cosecha es bajo, 20 a 25%. El K es un nutriente móvil en la planta, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas basales. En maíz, las deficiencias de K generan un amarillamiento y senescencia que se extiende por los bordes de las hojas, a diferencia del nitrógeno que avanza por la nervadura central en forma de V. En madurez, las plantas tienden a volcar, debido a que los tallos son débiles y más sensibles a enfermedades. Este efecto es agravado cuando se aplican altas dosis de fertilizantes nitrogenados.

Tal como ocurre con el fósforo, las cantidades de potasio a aplicar varían en función del potasio intercambiable en el suelo y de la estrategia a seguir: reposición (se agrega lo que se exporta) o de reconstrucción y mantenimiento (se eleva la dosis).

Para este elemento se han determinado umbrales de respuesta a la fertilización ubicados entre 100 y 120 ppm, cuando la capacidad de intercambio catiónico en el suelo es de 10 a 15 meq/100 gramos (Tabla 4.4). Mallarino (1999) determinó categorías de disponibilidad de potasio en Iowa, considerando niveles muy deficientes (0 a 60 ppm), deficientes (61 a 90 ppm), óptimos (91 a 130 ppm) y altos (131 a 170 ppm).

Tabla 4.4. Cantidades de fertilizante potásico a aplicar para un rendimiento de 9,5 t.ha⁻¹ para una CIC de 10 meq/100 gramos de suelo. Adaptado de Eckert (1994)

Potasio intercambiable Ppm	Incremento de rendimiento %	Mantenimiento o suficiencia kg ha ⁻¹	Rápida reconstrucción y mantenimiento kg ha ⁻¹
50	40	100	230
75	0	80	160
125	0	50	50
175	0	40	40
225	0	0	0

El agregado de potasio en suelos con niveles medios o altos de este nutriente y valores medios a bajo de magnesio y calcio pueden deprimir la oferta de estos dos últimos nutrientes, debido a la interacción negativa existente entre ellos.

Maíz: rotaciones

En los últimos años, la agricultura en nuestro país experimentó cambios muy significativos de la mano de la soja, que en vista de sus buenos precios internacionales, avanzó rápidamente ocupando varios millones de hectáreas de campos dedicados a la ganadería e incorporando nuevas superficies con menor aptitud para la actividad agrícola. Si bien la fertilización de los cultivos es una práctica que se ha difundido y desarrollado ampliamente, en general no se reponen al suelo todos los nutrientes extraídos por los cultivos. Esta reposición de nutrientes, menor a la adecuada, está provocando una disminución de los niveles de materia orgánica de los suelos y en consecuencia de su fertilidad (Forján & Manso, 2012a, 2012b y 2012c, Golik *et al.*, 2014). Estos balances negativos de materia orgánica se intensificaron ante el aumento de la superficie sembrada con soja, debido a que el carbono mineralizado anualmente no es compensado por la escasa cantidad y baja relación C/N de los rastrojos de la soja.

La rotación de cultivos resulta clave para lograr producciones rentables sin comprometer la capacidad de producción del recurso involucrado, en este caso el suelo, y sin generar efectos negativos en otros componentes del ambiente. Diversos ensayos de secuencias de cultivo demuestran la importancia del maíz como antecesor ya que permite diversificar los riesgos productivos, inhibiendo la proliferación de patógenos, insectos y malezas y evitando desequilibrios químicos de importancia. Las rotaciones también influyen en las condiciones físicas de los suelos, principalmente en lo que se refiere al estado estructural y distribución de raíces. Este efecto está dado por la cantidad y calidad (alta relación C/N) del rastrojo que se produce y se devuelve al suelo. En este sentido se destacan el maíz y el sorgo por su elevada producción, siendo mucho menor en soja (Chamorro *et al.*, 2014; Golik *et al.*, 2014). Además, el sistema radical del maíz aumenta la proporción de macroporos en el suelo, condición favorable para el crecimiento de las raíces de los cultivos siguientes. Con respecto a la calidad de los rastrojos, es ampliamente aceptado que los productos de la degradación de la lignina y compuestos nitrogenados son los mayores constituyentes de la materia orgánica humificada y estable del suelo. La incorporación de rastrojos con alta concentración de lignina y la adición de nitrógeno pueden ser una opción de manejo que conduzca al incremento del carbono del suelo (Forján & Manso, 2012a, 2012b, 2012c). La materia orgánica constituye el indicador más directo de la calidad de un suelo. Es el principal reservorio de nutrientes para las plantas y contribuye fuertemente a la estabilización de la estructura edáfica. Es un componente clave del suelo, ya que contiene alrededor del 95% del nitrógeno edáfico e influye favorablemente sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas, siendo por lo tanto fundamental para obtener rendimientos elevados y estables de

los cultivos. En ensayos de secuencias de cultivos realizados en Murphy, Santa Fe, la participación del maíz produjo importantes incrementos en los rendimientos del cultivo siguiente. El cultivo de trigo en la secuencia soja-maíztrigo/soja rindió un 24% más que en la secuencia trigo/soja continua (promedio de seis años) cuando no se fertilizó con nitrógeno. En el caso de soja de segunda, el rendimiento promedio de seis años en la secuencia que incluía el maíz fue de 3.275 kg.ha⁻¹, superior en un 23% al rendimiento en la secuencia trigo/soja.

Un incremento en la frecuencia de siembra de cultivos que aportan un mayor volumen de rastrojos amortigua la caída del contenido de materia orgánica del suelo y favorece la recuperación del mismo. Los cultivos de trigo, soja, girasol y maíz difieren en la cantidad y calidad de los rastrojos que quedan en el sistema luego de la cosecha. Por lo tanto, la frecuencia de aparición de aquellos cultivos en la rotación incide directamente sobre el contenido de materia orgánica del suelo. El elevado volumen de rastrojos aportado por el maíz contribuye favorablemente al contenido de materia orgánica del suelo. Además, la elevada relación carbono/nitrógeno permite una mayor perdurabilidad de los residuos. El mantenimiento de una adecuada rotación de cultivos resulta fundamental para asegurar la sustentabilidad de los sistemas en el mediano y largo plazo. Las rotaciones que incluyen maíz obtienen una mayor rentabilidad en el largo plazo por su contribución a la estabilidad de los sistemas de producción. A pesar de todo lo expresado, el maíz ocupa un porcentaje muy bajo de la zona agrícola núcleo de nuestro país (Ghio *et al.*, 2005).

Bibliografía

- Alvarez R. & Alvarez C. (2001). *Eficiencia de conversión de nitrógeno en cultivos de maíz de la pampa ondulada*. VII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Actas: en CD.
- Ambrogio M., Lorenzatti S., Tanducci W. & García F. (2001). *Explorando deficiencias nutricionales en la región pampeana: Resultados de los ensayos de fertilización AAPRESID- INTA-INPOFOS – Maíz 2000/01*. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2001”. INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Andrade F., Cirilo A., Uhart S. & Otegui M. (1996). *Nutrición mineral*. En *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa-Dekalb Press. pp 101- 117.
- Chamorro A.M., Bezus R., Golik S.I. & Pellegrini A. (2014). *Evaluación de distintos cultivos antecesores para la soja (Glycine max (L) Merr.) de segunda en el noreste de la Provincia de Buenos Aires*. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 34(2): 132-135.
- Colomb, B., Kiniry J.R. & Debaeke P. (2000). *Effect of soil phosphorus on leaf development and senescent dynamics of field-grown Maize*. Agronomy. Journal 92:428-435.

- Cordone G., Martínez F., Capurro J. & Abrate R. (2001). *Fertilización de maíz con nitrógeno y azufre en el centro-sur de la provincia de Santa Fe*. VII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Actas: en CD.
- Di Napoli M. (2001). *Análisis comparado de deficiencias de nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en siembra directa*. Monografía Especialista Programa de Post-Grado en Producción Vegetal. FCA-INTA Balcarce. Argentina.
- Díaz Zorita M. (1998). *Azufre: Balanceando la formula con otros nutrientes*. -Fertilizar, No. Esp. Pasturas 16-17.
- Díaz Zorita M. & Duarte G. (1997). *Fertilización nitrogenada de maíz en el oeste bonaerense*. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Actas: en CD.
- Echeverría H. & Sainz Rozas H. (2005). *Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional*. Ciencia del Suelo 19 (1): 57-66.
- Ferrari M., Ostojic J., Ferraris G., Ventimiglia L., Carta H., Rillo S. (2001). *Momento de aplicación del fertilizante nitrogenado en maíz de siembra directa*. VII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires.
- Fontanetto H. (1993). *Efecto del método de aplicación del fertilizante fosfórico en maíz a dos niveles de disponibilidad hídrica*. Tesis M. Sci. Fac. Ciencias Agrarias (UNMdP). Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto H. (1999). *Maíz en la región central de Santa Fe*. Actas "Seminario Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno, fósforo y azufre en cultivos de la región pampeana". EEA INTA Balcarce. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Forján H. & Manso L. (2012a). *La secuencia de cultivos*. En *Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia*. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- Forján H. & Manso L. (2012b). *Los nutrientes*. En *Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia*. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- Forján H. & Manso L. (2012c). *La materia orgánica del suelo*. En *Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia*. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- García F., Fabrizzi K., Ruffo M. & Scarabicchi P. (1997). *Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires*. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Actas: en CD.
- Ghio H., Cordone G., & Martinez F. (2005). *Importancia del maíz en la rotación de cultivos en la zona núcleo*. Revista Maizar
- Golik S.I., Chamorro A.M., Bezus R. & Pellegrini A. (2014). *Extracción y balance de nutrientes para distintas secuencias de cultivo en el noreste de la Provincia de Buenos Aires*. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 34(2): 147-150.

- Mallarino A. (2001). *Manejo de la fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en el centro-oeste de los Estados Unidos*. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad (2001)". INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Meisinger J.J. (1984). *Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems*. In: Nitrogen in Crop Production. R.D. Hauck (ed.). ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA. pp 391-416.
- Meisinger J.J., Bandel V.A, Angle J.S, O'Keefe, B.E. & Reynolds, C.M. (1992). *Pre-sidedress soil nitrate test evaluation in Maryland*. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1527-1532.
- Sainz Rozas H., H. Echeverría, E. Herfurt & G. Studdert. (2001). *Nitrato en la base del tallo de maíz*. II. Diagnóstico de la nutrición nitrogenada. Ciencia del Suelo 19(2):125-135.
- Uhart, S.A. & Andrade F. H. (1995). *Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set*. Crop Science. 35:1376-1383.
- Uhart, S.A. & Echeverría H. (2002). *Diagnóstico de la fertilización*. En: *Bases para el manejo de maíz, girasol y soja*. F.H. Andrade & V. Sadras (eds). INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. pp. 239-272.
- Urricarriet S. & Zubillaga M. (2001). *Fotografía aérea color e índice de verdor en la detección de la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz*. VII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Actas: en CD.
- Urricarriet S., Zubillaga M. & Couzelo L. (2000). *Incidencia de pérdidas de nitrógeno por volatilización en la producción de maíz bajo siembra directa*. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas: en CD.
- Ventimiglia L., Carta H. & Rillo S. (2001). *Utilización de diferentes fuentes fosforadas en maíz*. Experimentación en campo de productores. Campaña 2000/01. UEEA INTA 9 de Julio. Buenos Aires, Argentina.

CAPÍTULO 5

Maíz: Manejo de enfermedades

María Rosa Simón, Silvina Larran y María Constanza Fleitas

Introducción

Las enfermedades que afectan al maíz pueden ocasionar importantes disminuciones en el rendimiento producidas por interferencias en los procesos que conducen a la generación y partición de biomasa del cultivo (Fig.5.1). Algunas de ellas pueden reducir el stand de plantas, tal es el caso de la “podredumbre de la semilla” y “tizón de plántula”, la “podredumbre de la raíz y base del tallo”, el “mal de Río Cuarto”. Otras interfieren en la interceptación de radiación del cultivo, por reducir la superficie fotosintética o reducen la eficiencia de uso de la radiación, como pueden ser la “roya”, el “tizón del maíz”, el “mal de Río Cuarto”, otras reducen el índice de cosecha, ya que interfieren en los procesos involucrados en la producción y llenado de granos, como puede ser el “carbón de la espiga” o la “podredumbre de la espiga” y otras afectan la calidad de los granos como puede ser la “podredumbre de la espiga”.

En estudios realizados en los últimos años se ha registrado la presencia de enfermedades que se reiteran anualmente (endémicas) y otras patologías consideradas emergentes, que dependen de las condiciones ambientales, el manejo y el material genético utilizado (Couretot, 2009). El concepto de manejo integrado de las enfermedades (MIE) tiene como base la resistencia genética e implica una serie de prácticas culturales que expongan a la población del patógeno a condiciones subóptimas reduciendo la aplicación de plaguicidas y evitando que la enfermedad llegue al umbral de daño económico.

Las enfermedades infectan diferentes órganos de la planta y en diferentes estadios del ciclo fenológico del cultivo. Para una correcta elección de las técnicas de manejo a utilizar es necesario realizar un adecuado diagnóstico de las mismas y conocer las fuentes de inóculo del patógeno. Estas fuentes de inóculo dependen del hábito nutricional del patógeno (necrotrófico o biotrófico), así el “tizón del maíz” es producido por un patógeno necrotrófico que puede sobrevivir en el rastrojo, en tanto que la “roya” necesita organismos vivos para sobrevivir y se perpetúa en malezas. Asimismo algunos patógenos se encuentran en las semillas, tal es el caso de algunos de los hongos que producen la “podredumbre de la espiga”, “tizón de la plántula” y “podredumbre basal”. También la cantidad de inóculo depende de si se trata de una enfermedad producida por un patógeno mono (mal de Río Cuarto) o policíclico (roya, tizón).

La resistencia genética es la base del manejo integrado. Existe una adecuada resistencia a la “podredumbre basal del maíz” y tolerancia al “mal de Río Cuarto”. La durabilidad de la resistencia depende de si se trata de resistencia parcial (más durable y condicionada por varios genes de efecto menor) o completa (condicionada por uno o pocos genes y generalmente menos durable) y de si se han piramidizado varios genes que la condicionen. Asimismo la tolerancia puede expresarse como una menor reducción en el rendimiento aunque el cultivo presente síntomas de la enfermedad o una reducción en los síntomas (en el caso de los virus) aunque el patógeno se ha desarrollado en el hospedante.

Las rotaciones y los sistemas de labranza también inciden en la cantidad de inóculo inicial y su crecimiento. La labranza convencional reduce la cantidad de inóculo al incorporarlo a capas más profundas del perfil o exponerlo al calor y desecamiento en superficie. En cambio la siembra directa y labranzas conservacionistas pueden incrementar la supervivencia del inóculo por el rastrojo y humedad en superficie o la pueden disminuir al incentivar otros microorganismos que actúan en el control biológico (Eyherabide & Presello, 2002). Las rotaciones pueden reducir la incidencia de enfermedades, cuando el antecesor es hospedante de diferentes patógenos, o deja residuo escaso y que se descompone fácilmente y son efectivas cuando las esporas del patógeno no se trasladan a grandes distancias, cuando el patógeno no se encuentra en la semilla o la semilla está libre de enfermedad. Su eficiencia en la reducción de enfermedades depende también del potencial de supervivencia en presencia de hospedantes no susceptibles y de su efecto sobre especies de malezas que son importantes para la supervivencia de los patógenos (Eyherabide & Presello, 2002).

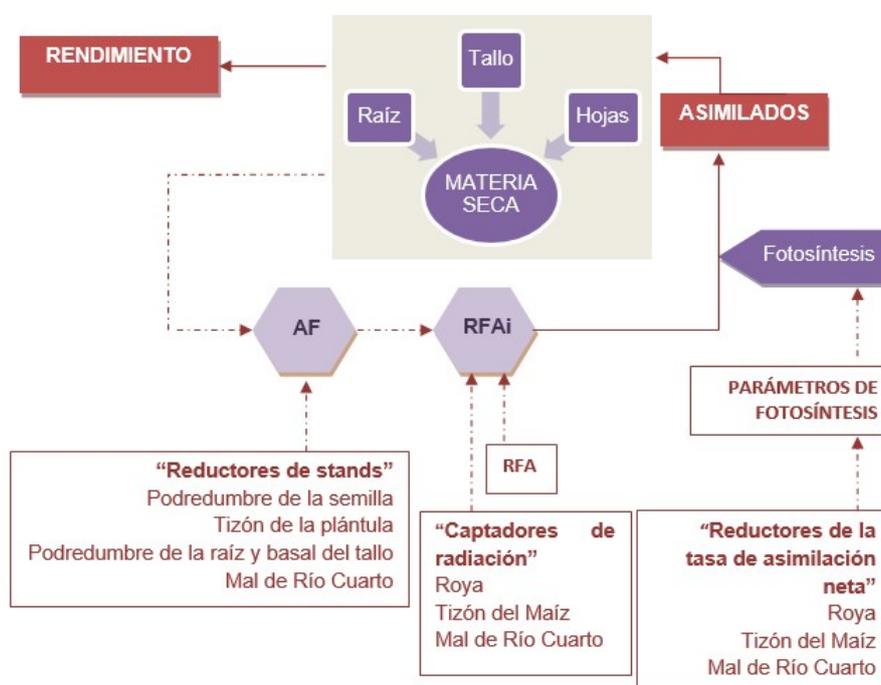


Figura 5.1. Clasificación de las enfermedades de maíz en relación a su efecto sobre los componentes de la generación de la biomasa y el rendimiento. IC: Índice de cosecha; AF: área foliar; RFA: Radiación fotosintéticamente activa; RFAi: Radiación fotosintéticamente activa interceptada. Adaptado de Windauer et al. (2003)

El ambiente también tiene importante efecto sobre la interacción planta-patógeno. Gran parte de las enfermedades son estimuladas por la alta humedad, las precipitaciones y el riego, en tanto otras como el “mal de Río Cuarto” se ven disminuidas, ya que la mayor oferta de agua reduce el estrés de las plántulas, acelera su crecimiento. También la lluvia durante el llenado de grano reduce el vuelco por disminuir la translocación de reservas del tallo (Escande, 2000). El exceso de nitrógeno o la falta de potasio aumentan la incidencia del vuelco (Escande, 2000), también el exceso de nitrógeno favorece la incidencia de “roya”. Sin embargo en otros patosistemas especialmente aquéllos en los que intervienen patógenos necrotróficos la fertilización nitrogenada suele reducir la incidencia de enfermedades vigorizando la planta, lignificando tejidos, modificando el grosor de epidermis y cutícula, etc. Las siembras tardías asociadas al incremento de la temperatura, también suelen causar una mayor incidencia de enfermedades.

Asimismo es importante conocer los factores que favorecen la relación entre la planta y el patógeno y las etapas en que el cultivo es más susceptible. La presencia de enfermedades es especialmente importante durante el período crítico del cultivo. Las principales enfermedades que afectan el maíz pueden agruparse en aquellas que ocasionan daños en el primer subperíodo del desarrollo del cultivo y las que lo ocasionan durante el desarrollo posterior.

Enfermedades que afectan en el inicio del cultivo

Abarca el período que va desde la siembra hasta el estado de 4^o hoja. Entre las enfermedades de mayor importancia se mencionan las siguientes:

Podredumbre de la semilla y tizón de la plántula

El período durante el cual germina el grano y se establece la plántula es un momento delicado en el que las semillas en germinación y/o las raicillas de las plántulas pueden ser atacadas por microorganismos del suelo, o que permanecen en el rastrojo o aquellos trasladados por la misma semilla. La aparición de esta sintomatología depende de condiciones ambientales adversas que retrasen la germinación, como períodos fríos, lluvias persistentes, sequía prolongada, terreno mal preparado o edad de la semilla, condiciones de su almacenaje y los daños mecánicos que hayan sufrido. Esta enfermedad es conocida también como “damping off”. En infecciones graves el embrión puede ser destruido antes de germinar y cuando el ataque es posterior, la plántula puede morir antes o después de emerger (pre y posemergencia). Si la plántula sobrevive al ataque, es menos vigorosa y por consiguiente, su desarrollo y producción serán inferiores al de una planta sana.

Los síntomas, además de la podredumbre de la semilla, pueden ser estrangulamiento del cuello (“tizón de las plántulas” y “damping-off”) y podredumbre de los tejidos del tallo. Asimismo, se manifiestan lesiones en las raíces que se observan como manchas de color castaño-rojizas inicialmente y luego negruzcas. Las raíces pueden destruirse total o

parcialmente. En estos casos, el área afectada presentará diferentes coloraciones de acuerdo al hongo que se encuentre involucrado.

Los hongos que más frecuentemente ocasionan estas sintomatologías son *Stenocarpella maydis* (Berk.) Sutton [Sin. *Diplodia maydis* (Berk.) Sacc., *Diplodia zeae* (Schw.) Lev.]; *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *Fusarium graminearum* Schwabe, forma sexual *Gibberella zeae* (Schw.) Petch., *Pythium* spp., *Macrophomina phaseolina* (Tassi). Goid. y *Rhizoctonia solani* (Kühn) Moore. Las zonas afectadas presentarán coloraciones diferentes de acuerdo al patógeno interviniente (Fig. 5.2); así para *S. maydis*, micelio gris-blancuzco, para *Fusarium* spp. color blanco-rosado, *Pythium* spp. coloraciones oscuras y para *M. phaseolina* puntuaciones oscuras (carbonosas).

Por lo mencionado, son varios los hongos que pueden parasitar la semilla y la plántula, pero en general la sintomatología que manifiestan son similares: lesiones oscuras en el mesocótilo, raíces flácidas, húmedas y necróticas, marchitamiento y reducción de la parte aérea de las plantas.

Para manejar este complejo de patógenos se recomienda sembrar semillas sanas, con buen poder germinativo, utilizar curasemillas, sembrar uniformemente evitando mucha profundidad, bajas temperaturas o suelos mal drenados.

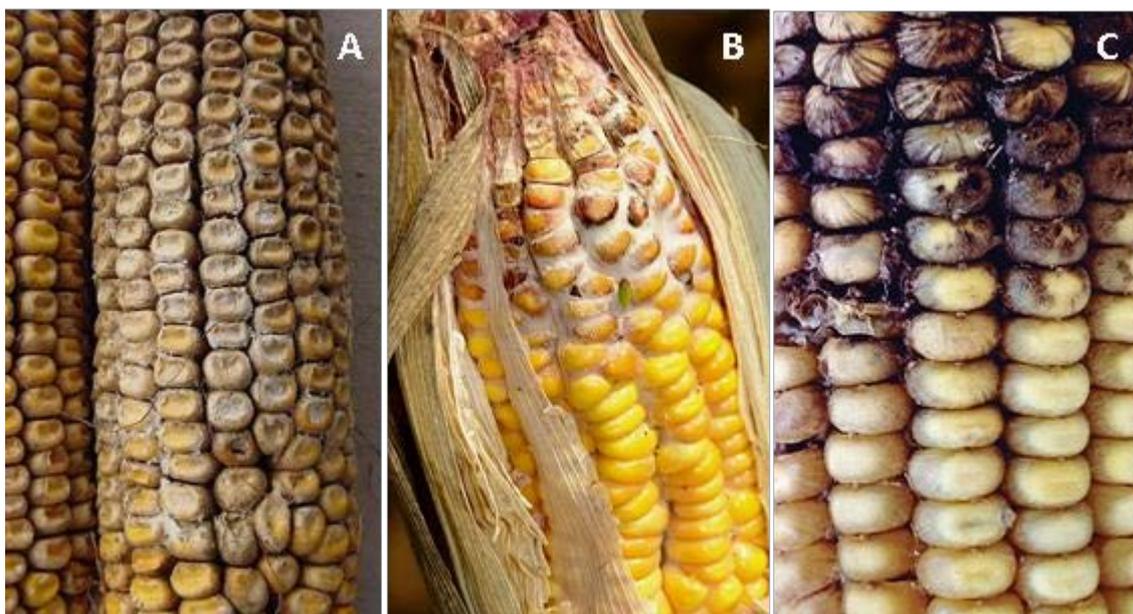


Figura 5.2. A. Micelio gris-blancuzco de *S. maydis* sobre granos de maíz. B. Micelio de *Fusarium* spp. color blanco-rosado. C. Manchas oscuras de *M. phaseolina*. Fuente: Bachi (2009), Scot (2008a) y CIMMYT (2006a) respectivamente

Virus del mosaico enanizante (Maize Dwarf Mosaic Virus)

Es una enfermedad viral que se ha propagado significativamente en nuestro país a causa de la dispersión del sorgo de Alepo (*Sorghum halepense* L.) su hospedante principal, y a la de los pulgones vectores *Rhopalosiphum maidis* y *Myzus persicae* (Fig. 5.3). Este virus se caracteriza por producir mosaico en estrías (Fig. 5.3), anillos cloróticos o puntuaciones cloróticas dependiendo de las razas del virus involucradas. Al

afectar en estadios tempranos ocasiona enanismo de las plantas de maíz. Para su manejo se recomienda el uso de híbridos tolerantes o resistentes y control del sorgo de Alepo y otras malezas que son hospederas del virus.

El “mal de Río Cuarto”, que se describirá más adelante, también puede afectar desde el estado de plántula, siendo en este caso su efecto más importante que cuando afecta en estadios posteriores.

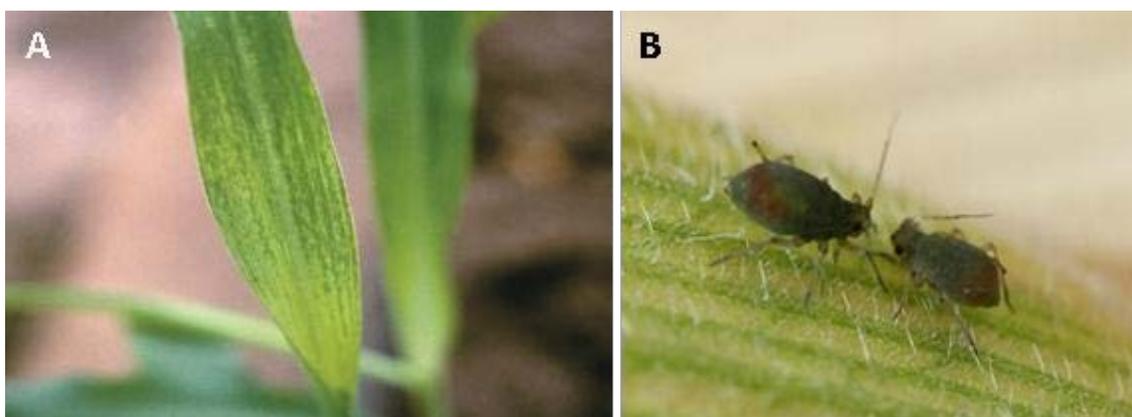


Figura 5.3. **A.** Síntomas del virus del mosaico enanizante en hojas jóvenes de maíz. **B.** Pulgón vector del virus, *R. maidis*. Fuente: CIMMYT (2006b) y Sisson (2012) respectivamente

Enfermedades que afectan después de cuarta hoja

Las enfermedades que afectan en la segunda etapa pueden agruparse según el órgano de la planta que afectan.

A. En tallos

Podredumbre del pie, basal o del tallo

Esta enfermedad es considerada de importancia en la zona maicera del país apareciendo en las últimas campañas con mayor frecuencia e intensidad (Carmona *et al.*, 2006). Es considerada de fin de ciclo ya que aparece luego de la floración y es ocasionada por un complejo de hongos y, ocasionalmente bacterias, que intervienen en la desintegración de la médula en el momento que se aceleran los procesos de senescencia de la planta. Es en este momento cuando el flujo de carbohidratos es dirigido hacia los granos en formación y el llenado de granos por lo que las raíces se debilitan. Las raíces no reciben suficientes carbohidratos por la mencionada partición de fotoasimilados o debido a otras condiciones de estrés como la presencia de enfermedades foliares, ataque de insectos, desbalance de nutrientes, alta densidad de plantas y déficit hídrico en posfloración, lo que facilita el ingreso de patógenos (Parisi *et al.*, 2014) que ocasionan la “podredumbre del pie, basal o del tallo”. Martínez (1980) mencionó que *Fusarium moniliforme* J. Sheld. [forma sexual *Gibberella fujikuroi* (Sawada) Ito en Ito & K. Kimura] puede penetrar por las raíces o los nudos inferiores y que la penetración puede ser favorecida por la presencia de barrenadores. A su vez, la

presencia de enfermedades foliares en esta etapa del ciclo del cultivo, disminuyen la superficie fotosintéticamente activa y la planta, para poder completar el llenado de los granos, debe translocar reservas desde el tallo a la espiga debilitándolos.

En este momento, cuando la planta está más predispuesta, la podredumbre prospera rápidamente dado que los organismos causales están presentes en casi todos los campos, si bien depende de las condiciones ambientales y del material genético utilizado. Además los agentes causales de la enfermedad son los mismos que ocasionan las pudriciones de la espiga y también son comunes en semillas (Carmona *et al.*, 2006).

Los primeros síntomas se manifiestan en plantas aún verdes, en los que se observa el entrenudo inferior manchado o decolorado. Las hojas pierden color y el ápice se dobla hacia abajo. Luego, los entrenudos se ablandan y se observa el tejido medular desintegrado, en ocasiones, permanecen intactos los haces vasculares, pudiendo presentarse coloraciones anormales e incluso las fructificaciones del hongo. La muerte de las hojas progresa de abajo hacia arriba. Las raíces se debilitan y se observan necrosadas. La consecuencia más grave es el vuelco de las plantas afectadas como resultado del debilitamiento del tallo. Las plantas volcadas son difícilmente levantadas por la cosechadora, pero aún cuando esto ocurriera, hay pérdida por la pudrición de las espigas y germinación de los granos que han estado en contacto con el suelo. La muerte prematura de las plantas provoca además una reducción en el tamaño de las espigas y menor peso de los granos.

Los hongos causales son necrotróficos, persisten en el suelo y rastrojo, por lo que la siembra directa y el monocultivo permiten su sobrevivencia y algunos de ellos son coincidentes con los que producen la “podredumbre de la semilla” y “tizón de la plántula” y la “podredumbre de la espiga”. Entre ellos los principales son: *F. graminearum*, *F. verticillioides*; *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wils., (forma sexual *Glomerella graminicola* Politis); *S. maydis* y *M. phaseolina* (Carmona *et al.*, 2006). De acuerdo al hongo que intervenga en la infección pueden observarse signos diferenciales en la base del tallo: *M. phaseolina*, produce la “podredumbre negra o carbonosa”, llamada así por la coloración que toma la médula por la presencia de numerosos microesclerocios negros (Fig. 5.4). Es monocíclica y los tallos afectados pueden reconocerse por las rayas grisáceas en la superficie de los entrenudos inferiores (Ullstrup, 1969). Después de la floración uno de los primeros síntomas es el secado anormal del tejido de las hojas superiores y cuando las plantas se aproximan a la madurez, las plantas afectadas presentan en sus entrenudos inferiores la parte interna de los tallos de color negruzco y desgarramiento de los haces vasculares. Los microesclerocios pueden sobrevivir varios meses y afectar al cultivo siguiente, el patógeno también puede sobrevivir en el rastrojo y transmitirse por semillas. El hongo puede afectar los granos dándoles una coloración oscura (Fig. 5.2). La incidencia de esta enfermedad aumenta rápidamente cuando predominan condiciones de sequía y temperaturas altas antes de la floración.

S. maydis: “pudrición por *Diplodia*”. Es una enfermedad policíclica que aparece por lo general unas pocas semanas después de la floración. Las hojas se marchitan y toman un color gris verdoso. En la base del tallo se observan lesiones oscuras en los nudos, color

café, que se extienden hacia arriba y hacia abajo del área del entrenudo inicialmente afectado (Fig. 5.5). Los entrenudos se tornan esponjosos, la médula parda, se desintegra y luego se decolora (Fig. 5.5). Las plantas afectadas se debilitan y se quiebran fácilmente en presencia de lluvias y fuertes vientos. Sobre las lesiones se forman abundantes picnidios negros. El hongo sobrevive en rastrojo y en semilla.

Las condiciones que se requieren para que aparezca el patógeno son tiempo seco durante las primeras fases de desarrollo del cultivo y luego durante las tres semanas siguientes a la polinización, tiempo húmedo y con temperaturas de 28-30 °C. La alternancia de períodos de estrés hídrico y alta humedad también predisponen a la infección de este patógeno.

F. graminearum “pudrición por *Gibberella*”. Las plantas marchitas permanecen erectas cuando se secan. Las hojas de las plantas afectadas se vuelven opacas y de color gris verdoso y el tallo de color pardo (Fig. 5.4). Al cortar los tallos verticalmente se observa que el floema es de color café oscuro con un oscurecimiento general conspicuo de los tejidos. La médula se torna rosa-rojiza. En las etapas finales de la infección la médula se desgarrá presentando coloración rojiza en la zona afectada, los haces vasculares permanecen intactos y los tejidos adyacentes pierden color. Puede observarse como signo de la enfermedad la presencia de peritecios en la base del tallo. Se requiere tiempo cálido y húmedo para la infección (Carmona *et al.*, 2006).

F. verticillioides: “pudrición por *Fusarium*”. Es particularmente dañino si comienza antes de la floración. Ocasiona la desintegración de los tejidos de la médula en la base del tallo debilitando la zona afectada. También produce podredumbre de las raíces. Esta enfermedad aparece todos los años con distinta intensidad. Su severidad se relaciona con el germoplasma del cultivar, la cantidad de inóculo y las condiciones ambientales en las que desarrolla el cultivo (más severa en climas secos y cálidos). Las plantas de maíz con el follaje dañado por enfermedades, labores culturales, granizo, atacadas por el gusano barrenador del tallo o con escaso desarrollo radicular son las más susceptibles. La médula se observa de coloración rosa salmón y el tallo pardo salmón.

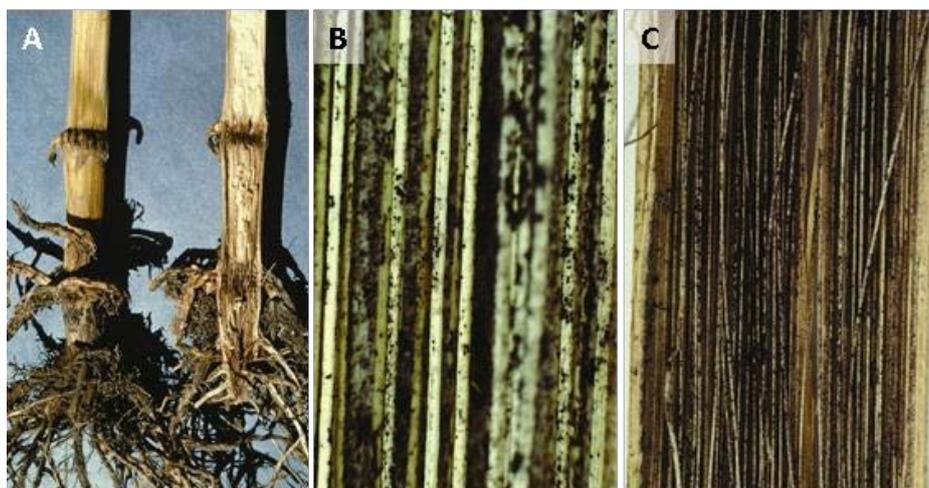


Figura 5.4. **A.** Pudrición por *Gibberella* en tallos de maíz. **B.** y **C.** Interior de tallos de maíz afectados por podredumbre negra o carbonosa ocasionada por *M. phaseolina*. Fuente: CIMMYT (2006c; 2006d)



Figura 5.5. **A y B.** Podredumbre del tallo ocasionado por *S. maydis*, vista externa e interna del tallo. **C.** Estrías de color oscuro sobre tallos de maíz característicos de la pudrición del tallo ocasionados por *C. graminicola*. Fuente: CIMMYT (2006e) y Ollie (2010)

C. graminicola: Ocasiona la “pudrición del tallo” y también “tizón de la hoja” cuando las plantas se acercan a la floración. Los síntomas se manifiestan como áreas húmedas sobre la superficie de los entrenudos basales. Estrías alargadas y angostas primero color café y luego negras, que inicialmente pueden comenzar en los nudos y luego progresar a lo largo del tallo (Fig. 5.5). Puede ocurrir la podredumbre de las raíces generalmente antes de aparecer la podredumbre de la base del tallo.

En las plantas infectadas se observa marchitamiento prematuro (causado por la destrucción total del tejido de la médula) y desgarramiento de los haces vasculares, que adquieren una coloración café oscura. Sobre la superficie afectada se observan las puntuaciones negras correspondientes a los acérvulos del hongo. Esta enfermedad ocurre en clima húmedo y caluroso. El hongo sobrevive en los restos de cultivo afectado.

Para el manejo de la enfermedad deben considerarse los siguientes factores: seleccionar un híbrido con buen comportamiento, uso de semillas de calidad; tratamiento de semillas con fungicidas; mantener una buena fertilidad balanceada en el suelo (disponibilidad de nitrógeno durante todo el cultivo y evitar el desbalance entre nitrógeno y potasio dosis excesivas de nitrógeno la favorecen); utilizar híbridos resistentes o tolerantes (mejor comportamiento los que permanecen verdes en las etapas avanzadas del cultivo); rotación de cultivos; evitar densidades altas; control de malezas, de enfermedades foliares, insectos u otros que condicionen estrés en la planta, riego durante el llenado de grano y realizar cosecha oportuna o anticipada.

B. En hojas

Las manchas foliares de mayor prevalencia en los últimos años en nuestra región, de acuerdo al orden de importancia, son el “tizón común”, la “roya común” y con menor importancia se pueden mencionar a la “mancha gris”, la “roya polisora”, la “mancha blanca”, “la mancha ocular” y la “antracnosis”. En la región centro y núcleo, considerando la severidad y la cantidad de lotes afectados, las de mayor importancia son la “roya común” y el “tizón

común”, en los que se han registrado valores de 100% de prevalencia, mientras que la “roya polisora” y la “mancha gris” son más características del noroeste (Formento, 2014).

Tizón de la hoja (del norte y del sur)

En el país se denomina así a la enfermedad ocasionada por el hongo *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs (Sin. *Helminthosporium turcicum* Pass.), también conocido como “tizón del norte” por la ubicación del área que afecta en Estados Unidos si bien aparece comúnmente en el sur de nuestra región maicera. El “tizón de la hoja” o foliar (*E. turcicum*) junto con la “roya común”, que se describirá más adelante, constituyen las principales enfermedades endémicas del cultivo del maíz en la zona maicera núcleo con distinta severidad según las condiciones climáticas, el cultivar y los biotipos de los patógenos (Couterot *et al.*, 2013).

Las lesiones se inician en las hojas basales como pequeñas manchas ahusadas, elípticas alargadas, color verde grisáceo inicialmente, luego castaño pajizo, con halo húmedo, aisladas en un principio y luego confluentes formando manchas extendidas pardo o pardo-oscuro, gris-verdoso de 2,5 a 25 cm de longitud, limitadas por un margen más o menos definido, oscuro marrón-rojizo, a lo largo de las nervaduras (Fig. 5.6). Con el tiempo pueden observarse a ambos lados de las hojas afectadas la esporulación del hongo como una eflorescencia negruzca. Cuando los ataques son severos la enfermedad avanza hacia arriba, deformando las hojas que finalmente se marchitan y la planta muere quedando con aspecto de haber sufrido daño por heladas (Fig. 5.6).

Es una enfermedad que ocurre en climas moderados (18°C) y húmedos, en particular la presencia de rocío favorece su aparición. El hongo es necrotrófico y sobrevive en los rastrojos como micelio o conidios, los que pueden ser transportados por el viento a grandes distancias o por salpicaduras de agua.

Si la enfermedad aparece antes de la fecundación puede ocasionar pérdidas de rendimiento entre el 30 y 50%, que son menores en condiciones de clima seco y cuando la enfermedad ocurre varias semanas después de la fecundación de los estigmas. En la zona maicera con altas temperaturas, humedad, al menos 8 horas de mojado y fuertes rocíos sus ataques ocurren después de la fecundación.



Figura 5.6. Síntomas de *E. turcicum* en hojas de maíz. Fuente: Mc Grath (2013a; b; c)

La muerte prematura de la superficie foliar activa restringe la formación de almidón siendo las espigas y granos de menor calidad. Además de la reducción de la fotosíntesis y sus consecuencias, el desequilibrio en el balance de carbohidratos predispone al marcado incremento de la podredumbre basal. En siembras tardías se han observado altos niveles de incidencia, con madurez anticipada, incompleto llenado de espigas, disminución del peso de granos, tendencia al quebrado y posterior vuelco de plantas causado por la removilización de nutrientes y debilitamiento de los tallos (Couretot, 2011).

El tipo de lesiones ocasionadas depende de la susceptibilidad del híbrido utilizado y del tipo de resistencia. Couretot (2011), determinó que en siembras tardías el 50% de los híbridos evaluados alcanzó niveles de severidad del 45 al 60%, mientras que el otro 50% tuvo niveles entre bajos y moderados del 5 al 25%. De Rossi *et al.* (2010) determinaron que valores de severidad del 60% causaron pérdidas de hasta el 40% de rendimiento en híbridos susceptibles. Por lo tanto, como medidas para el manejo se recomienda la utilización de híbridos con buen comportamiento, evitar el monocultivo en siembra directa, rotaciones [el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) también es afectado], aplicación de fungicidas foliares entre panojamiento y emergencia de estigmas.

Existe otro tizón en zonas maiceras cálidas, también conocido como “tizón del sur” ocasionado por *Bipolaris maydis* (Nisikado & Miyake) Shoem. (Sin. *Helminthosporium maydis* Nisikado & Miyake) y que ha sido registrado en cultivos del norte, Chaco y Corrientes. Este hongo presenta dos razas O y T. La raza O afecta sólo las hojas ocasionando lesiones similares a las de *E. turcicum* pero más cuadrangulares y pequeñas. La raza T también produce manchas en chalas, mazorcas y granos, ennegreciéndolos. Los granos infectados pueden germinar y a las 3 o 4 semanas se marchitan y mueren. A la raza T resultó particularmente susceptible el material con citoplasma estéril Texas, lo que provocó importantes pérdidas en Estados Unidos y la revisión de los planes de producción de semilla híbrida que incluyeran este citoplasma.

Roya común del maíz

Esta enfermedad solo afecta al maíz si bien el patógeno que ocasiona la enfermedad es *Puccinia sorghi* Schwein. Es una enfermedad endémica en la región maicera núcleo del país, causada por un patógeno policíclico, presentándose con distintos grados de severidad dependiendo del material genético utilizado, del patógeno y de las condiciones ambientales (Formento, 2010). Normalmente la infección ocurre un poco antes de la floración siendo más grave en siembras tardías. Afecta a las vainas y láminas produciendo pústulas errumpentes alargadas de color herrumbroso oscuro (canela) en el haz y en el envés de las hojas (Fig. 5.7). Se distribuyen en bandas en el centro de las hojas. Al final del ciclo del cultivo se observan pústulas más oscuras, casi negras, conteniendo teliosporas.

La “roya común” es de ciclo completo, tiene como hospedante alternativo a *Oxalis* spp., en el que completa su ciclo sexual. Esto es de importancia por la variabilidad genética del patógeno del cual se han encontrado al menos cuatro razas (Formento, 2010). Afecta

el rendimiento ya que ocasiona reducción en el peso y/o número de granos. Las condiciones predisponentes son alta humedad (98%) y temperaturas entre 16 y 23 °C. En esas condiciones produce una maduración anticipada del cultivo y disminución del peso de los granos (Couretot, 2009).

Para el manejo se recomienda: uso de resistencia genética. En la campaña 2013/2014, los máximos valores de severidad de roya en híbridos de maíz fueron de 10% (Parisi & Couretot, 2014) aunque en años previos han alcanzado el 25% con diversos cultivares con porcentajes muy bajos de lesión. Asimismo es importante la aplicación de fungicidas foliares entre panojamiento y emergencia de estigmas en los cultivares con susceptibilidad. Los umbrales de control se encuentran entre 3 y 5% en los estadios V8-V10 en las hojas cercanas a la espiga (Canale *et al.*, 2011).

Roya sureña o polisora

Esta enfermedad es característica del norte del país donde las temperaturas son más cálidas, requiere alrededor de 27°C y humedad relativa alta. El agente causal es *Puccinia polysora* Underw. Afecta hojas y vainas presentando pústulas herrumbrosas más claras o más brillantes, más pequeñas y menos errumpentes que las de *P. sorghi* principalmente en el haz de las hojas, distribuidas uniformemente en toda la superficie (Fig. 5.7). Los teliosoros aparecen al final del ciclo del cultivo con coloraciones más oscuras (marrones o negras) y algunas veces rodeando circularmente los urediniosoros. Para el manejo de la enfermedad deben utilizarse híbridos resistentes y aplicación de fungicidas al follaje entre panojamiento y emergencia de estigmas.

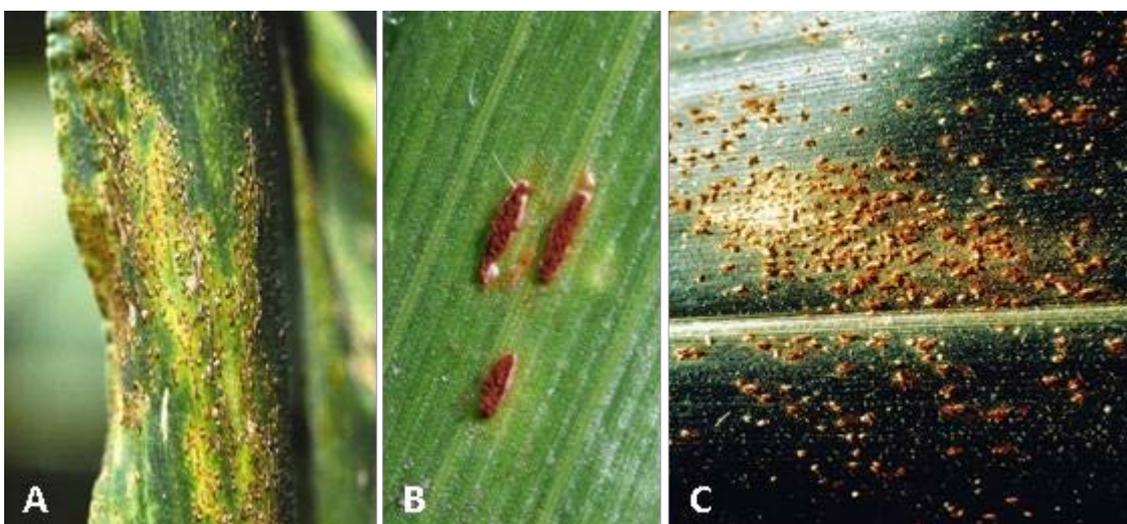


Figura 5.7. **A** y **B**. Pústulas de *P. sorghi* sobre hojas de maíz. **C**. Pústulas de *P. polysora*. Fuente: CIMMYT (2006f), Mueller (2012a) y CIMMYT (2006g) respectivamente

Mancha gris

Esta enfermedad es también conocida como “mancha lineal” y ocasiona importantes daños en la región norte del país y se ha detectado con gran agresividad en Chaco y Formosa (Formento, 2014). Fue citado por primera vez en 2001 en Tucumán y adquirió importancia con el

incremento de la siembra directa (Heredia *et al.*, 2008). Los síntomas se observan inicialmente en las hojas inferiores como lesiones angostas, alargadas, rectangulares de color café grisáceo, paralelas a las nervaduras (Fig. 5.8), luego se tornan de color gris y pueden coalescer formando áreas necróticas. Aparece algunas semanas antes de la floración.

El agente causal es el hongo necrotrófico *Cercospora zeae-maydis* Tehon & Daniels, que sobrevive en rastrojo como micelio. Las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad son clima cálido y húmedo (mojado de hojas y días nublados favorecen el desarrollo de la enfermedad), altas densidades de siembra, desbalance nutricional o cualquier condición que genere estrés. Puede ocasionar senescencia foliar de importancia o llenado deficiente de granos. La rotación de cultivos y la aplicación de fungicidas al inicio de su detección pueden reducir el inóculo inicial.



Figura 5.8. **A.** Síntomas de *C. zeae-maydis* en hoja de maíz. **B.** Síntomas de *K. zeae*. **C.** Síntomas de *C. graminicola* en hojas donde se observa el arrugamiento de las mismas. Fuente: Department of Plant Pathology Archive (2007a), Mueller (2012b) y Wells (2007) respectivamente

Mancha anillada, ocular o en ojo

Esta enfermedad tiene poca difusión, si bien es considerada como reemergente. Es ocasionada por *Kabatiella zeae* Narita e Hiratsuka (Sin. *Aureobasidium zeae*). Los síntomas característicos se observan como lesiones pequeñas de 1 a 4 mm circulares y traslúcidas al principio, luego color canela rodeados de anillos color púrpura o amarillento que le dan aspecto de “ojo” (Fig. 5.8) primeramente en hojas viejas, luego asciende a hojas superiores ocasionando un secado anticipado de las hojas de toda la planta. Estas manchas pueden coalescer formando amplias superficies necróticas en las hojas, tallos, chalas yvainas.

Como medidas de manejo se recomienda utilizar cultivares con buen comportamiento sanitario frente a la enfermedad. Por otro lado, dado que la enfermedad está asociada labranzas conservacionistas, es aconsejable rotar con otros cultivos no emparentados al maíz, eliminar hospedantes alternativos y favorecer todas aquellas condiciones que aceleren la descomposición de residuo infectado. La aplicación de fungicidas debe realizarse en función de la susceptibilidad del híbrido, presión de inóculo presente, condiciones ambientales favorables para la enfermedad, etc.

Antracnosis

Es ocasionada por el hongo *C. graminicola*, (también agente causal de la podredumbre basal) produce manchas ovales, inicialmente en hojas basales, que suelen agrandarse y rodearse de un halo oscuro y que pueden coalescer formando grandes áreas necrosadas. La enfermedad desarrolla mejor en hojas viejas y en plantas adultas. Las hojas finalmente se arrugan (Fig. 5.8), se puede extender a vainas, tallos y raíces. Sobre las lesiones se observan puntuaciones negras que corresponden a los acérvulos del hongo. Este patógeno ocasiona también el “top leaf death” o “top dieback”, que ocasiona la muerte de la parte superior de la planta (panoja más uno o dos nudos).

Las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad son altas temperaturas y elevada humedad. El patógeno sobrevive en el rastrojo y se dispersa por semilla, factores a tener en cuenta para el manejo evitando el monocultivo (rotar), utilizar híbridos resistentes y aplicación de fungicidas foliares.

Mancha blanca

La enfermedad es ocasionada por el hongo *Phaeosphaeria maydis* (Henn) Rane, Payak & Renfro [forma asexual *Phoma maydis*, Sin. *Leptosphaeria zae- maydis* Saccas; *Metasphaeria maydis* (Henn.) Höhnel] que produce manchas pequeñas de color verde pálido con borde rojizo y halo clorótico. Posteriormente, las manchas se tornan blancuzcas mostrando tejido muerto. Estas manchas pueden coalescer formando áreas necróticas mayores en la hoja pudiendo ocasionar desecamiento prematuro de las hojas. Sobre las manchas se forman los peritecios negruzcos del patógeno. El hongo sobrevive en restos de cosecha. Requiere alta amplitud térmica, con máximas diurnas de 30°C y mínimas nocturnas de 13°C, acompañado por alta humedad relativa del ambiente.

Mancha foliar por Helminthosporium o “Helmintosporiosis”

Se conoce así a la enfermedad ocasionada por *Bipolaris zeicola* (G.L.Stout) Shoem. (Sin. *Helminthosporium carbonum* Ullstrup), afecta al cultivo del maíz y otras especies de gramíneas en varias regiones templadas del mundo. Sin embargo, es considerada de menor importancia. Se han descrito varias razas del hongo en base al tipo de lesión que ocasionan. Los síntomas que produce varían en función de la sensibilidad/susceptibilidad del híbrido (Welz *et al.*, 1993). No obstante, los síntomas generalmente son de color canela, ovales o circulares, y pueden presentar zonas concéntricas, en ocasiones bordes más oscuros.

Como medida de manejo se recomienda la rotación de cultivos, uso de material genético resistente y aplicación de fungicidas foliares.

Tizón amarillo de la hoja

Es una enfermedad de poca importancia y difusión en la zona maicera argentina y es ocasionada por el hongo nectrófico *Mycosphaerella zae-maydis* Mukunya & Boothroyd (forma asexual *Phyllosticta maydis* Arny & Nelson). Este hongo es considerado un patógeno débil por lo que desarrolla en cultivos con estrés por condiciones bióticas o abióticas y presencia de inóculo en cantidad, en cualquier momento del ciclo del cultivo. Las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad son alta humedad y temperaturas elevadas.

Los síntomas característicos son similares a las deficiencias de nutrientes y son: clorosis y manchas de color amarillo, angostas, alargadas, paralelas a las nervaduras aisladas inicialmente que luego se fusionan produciendo una necrosis típica cerca del ápice de la hoja (Fig. 5.9).

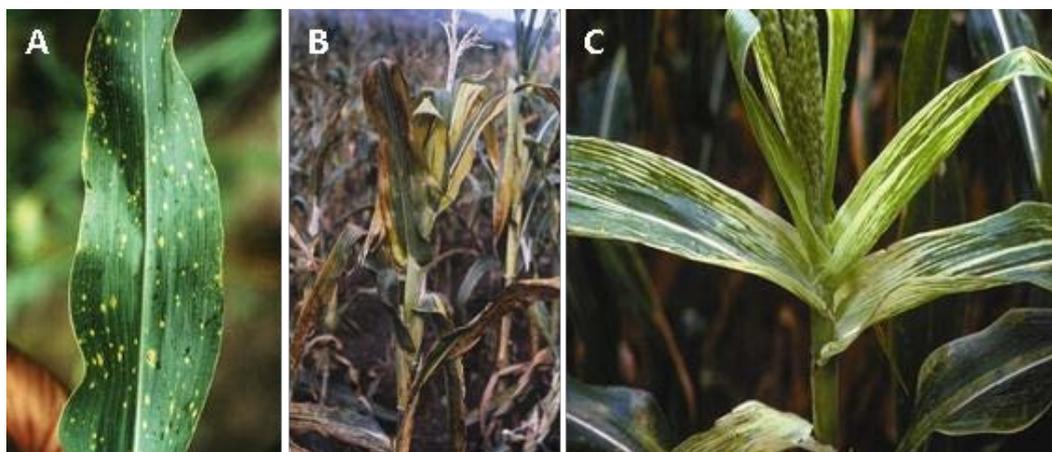


Figura 5.9. **A.** Síntomas del tizón amarillo de la hoja causado por *M. zae-maydis*. **B y C.** Síntomas del achaparramiento del maíz ocasionado por el espiroplama *Spiroplasma kunkelii*.

Fuente: CIMMYT (2007h; i)

Bacteriosis

Se han registrado en las últimas campañas en la región núcleo maicera algunas manchas foliares ocasionadas por diferentes bacterias, con diferentes niveles de severidad, Entre ellas se puede mencionar a *Pantoea ananatis* (Serrano, 1928) Mergaert *et al.* (1993) como el agente causal de la mancha de la hoja del maíz, citado por primera vez por Alippi & López (2010). Las bacteriosis se presentan con mayor frecuencia en lotes que han sufrido tormentas con fuertes vientos o granizo, presentando síntomas variados tales como rayados, estriados, manchas cloróticas acuosas, etc.

Asimismo, el “achaparramiento del maíz” o “corn stunt” producido por un virus y dos bacterias, la más usual en Argentina es *Spiroplasma kunkelii* Whitcomb. Es transmitido por el cicadélido *Dalbulus maidis* De Long & Wolcott y *Exitianus obscurinervis* Stal (Carlioniet *al.*, 2011). Los síntomas son estrías cloróticas que se inician en la base de las hojas y se extienden hacia el ápice (Fig. 5.9) con acortamiento de entrenudos y en algunos casos ausencia de estructuras reproductivas, también en zonas templadas coloración amarillenta o rojiza en las láminas y proliferación de espigas muchas veces vanas y pequeñas (Giménez Pecci, 2012).

C- En inflorescencias

Carbón común o de la espiga

Es causado por el hongo biotrófico *Ustilago maydis* (DC.) Corda, que produce agallas en cualquier tejido aéreo (espigas, tallos, hojas y panojas), especialmente en tejidos embrionarios (Fig. 5.10). Todos los tejidos meristemáticos son susceptibles. Cuando el ataque se produce en plantas jóvenes en activo crecimiento las agallas se desarrollan debajo de la superficie del suelo pudiendo ocasionar enanismo o la muerte. Los granos, generalmente de la punta de la espiga, quedan sustituidos por bolsas o agallas blancas cerradas (hiperplasia) que en su interior contienen teliosporas y con el tiempo se deshidratan y se abren liberando las masas carbonosas negras de esporas. El patógeno sobrevive en rastrojo y suelo como teliosporas.

Las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad son tiempo húmedo y lluvioso, heridas por granizo o vientos, ya que éstas inducen la división celular y por lo tanto estos tejidos quedan predispuestos al ataque del patógeno, y condiciones de estrés en el período crítico. Esto último es debido a que generan una desincronización en la liberación del polen y la aparición de los estigmas por lo que son menos las flores fecundadas y quedan más estigmas susceptibles de ser atacados por el hongo, ya que es uno de los sitios de ingreso del patógeno.

La enfermedad produce pérdida de rendimiento y disminución de la calidad de los granos. Para el manejo de la enfermedad se recomienda la siembra de genotipos resistentes, mantener una fertilización equilibrada y minimizar los daños mecánicos o daños por insectos. Las rotaciones no son efectivas porque el hongo permanece viable en el suelo por varios años.



Figura 5.10. **A.** Síntomas del carbón común ocasionado por *U. maydis* sobre hojas. **B. C.** y **D.** Síntomas del carbón común sobre espigas de maíz. Fuente: CIMMYT (2007j)

Carbón de la panoja

El agente causal *Sphacelotheca reiliana* (Kühn) Clint penetra en estado de plántula y desarrolla internamente en forma latente invadiendo los órganos florales que presentan carbón en superficie o reduce el crecimiento de las plantas infectadas por acortamiento de los tallos principalmente en los últimos entrenudos o impide la formación de panojas y espigas o las panojas crecen deformes y excesivamente (Fig. 5.11). Pueden afectarse pocas espiguillas, en las que se forman tallos o filodios, o afectar toda la panoja

proliferando en este caso estructuras similares a hojas. En las espigas de las plantas infectadas se forman agallas blanco rosado que contienen una masa negra (Fig. 5.11) de teliosporas que constituyen la fuente de dispersión del hongo. Desarrolla en ambientes secos y cálidos (temperaturas entre 26 y 34°C). Para el manejo se recomienda rotación de cultivos y tratamiento de semillas.



Figura 5.11. Síntomas del carbón de la panoja ocasionado por *S. reiliana* en panojas de maíz. Fuente: California Department of Food and Agriculture (2008) y Croissant (2008)

Crazy-top, panoja loca o escoba de bruja

En el país, por el momento, es considerada una enfermedad de escasa importancia. La enfermedad es más común en regiones cálidas y húmedas. Es ocasionada por el hongo *Sclerophthora macrospora* (Sacc.) Thirum., Shaw & Narasimhan, uno de los denominados "mildius" que también tiene como hospedante al sorgo, al trigo (*Triticum aestivum* L.), al arroz (*Oryza sativa* L.), a la cebada (*Hordeum vulgare* L.), a la avena (*Avena sativa* L.) y a otras gramíneas pertenecientes a los géneros *Agropyron*, *Agrostis*, *Avena*, *Bromus*, *Pennisetum* y *Phalaris*, entre otros.

Las plantas jóvenes afectadas muestran proliferación de tallos (Fig. 5.12) con hojas cloróticas y angostas, sin embargo la sintomatología característica es la proliferación parcial o total de filodias (estructuras similares a hojas deformadas y retorcidas, generalmente de gran tamaño) tanto en las inflorescencias masculinas como en las femeninas (Fig. 5.12). Las hojas se hacen angostas y coriáceas tomando un color más claro que lo normal. Sobre los tejidos afectados desarrolla el signo de la enfermedad como una masa vellosa de color blanco a crema (esporangios y esporangióforos). El hongo sobrevive en el suelo como esporas de resistencia (oosporas) o en malezas gramíneas. Para el manejo se recomienda el uso de híbridos resistentes, rotación, adecuado nivel de nitrógeno y fungicidas curasemillas específicos para Oomicetes.



Figura 5.12. **A.** Síntomas del crazy-top ocasionado por *S. macrospora* en inflorescencias maculinas de maíz. **B.** Proliferación de tallos en plantas afectadas por la enfermedad. Fuente: Bachi (2008) y Mueller (2012c)

Podredumbres de la espiga

Diferentes especies de hongos son causantes de la desintegración de tejidos en las espigas ocasionando la pérdida de calidad del grano y la disminución de rendimiento. Producen importantes daños en zonas húmedas, y en particular cuando las precipitaciones son superiores a los valores normales. En general, las podredumbres de las espigas son favorecidas por una cobertura de chalas deficiente, por la posición erecta que las espigas conservan en madurez y por el daño provocado por insectos, retraso en la cosecha y otoños húmedos. Las podredumbres pueden ser secas o húmedas dependiendo del patógenos involucrado si bien todos son necrotróficos, que sobreviven en el rastrojo y requieren un manejo similar (Sillón, 2008). Las podredumbres de la espiga pueden ser ocasionadas por *S. maydis*, *G. zaeae*, *F. moniliforme*, *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. y otros.

Pudrición blanca o seca del maíz

Esta enfermedad es ocasionada por el hongo *S. maydis*. La infección comienza desde los tallos o desde la base de las espigas. Las chalas de las espigas afectadas presentan coloración pajiza con abundante desarrollo de micelio blanco y en condiciones de alta humedad puntuaciones negras correspondientes a los picnidios del patógeno sobre el síntoma. Dentro, las espigas se recubren de micelio blanco grisáceo por debajo de los granos y entre hileras, que luego se torna de color café, desarrollando a su vez las fructificaciones del hongo. Las espigas pueden pudrirse totalmente si el ataque es severo. La enfermedad produce no solo reducción del rendimiento el maíz sino que además disminuye la calidad y el valor alimenticio del grano debido a que el patógeno produce micotoxinas tales como la diplodiatoxina que ocasiona la enfermedad en animales conocida como diplodiosis (Bodega, 2010). Las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad son la presencia de temperaturas cálidas y sequía antes de la floración seguidas de condiciones de humedad los 30 días posteriores a la misma (Sillón, 2008).

Podredumbre por *G. zeae*

G. zeae ocasiona una podredumbre rosada o rojiza que comienza por el ápice de la espiga hacia la base. Puede afectar solo los granos del ápice o afectar toda la espiga o adherir las chalas entre sí por medio del micelio con formación de peritecios negro-azulados en chalas y raquis. Es característico observar la punta de la espiga sin granos (Fig. 5.13). Además de reducir el rendimiento, disminuyen la calidad del grano y el valor alimenticio ya que el agente causal produce micotoxinas tales como deoxinivalenol, zearalenona y zearalenol.

Las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad son alta humedad y tiempo fresco, carencia de potasio, altos niveles de nitrógeno o estrés del cultivo.

Podredumbre por *G. fujikuroi*

Esta podredumbre es ocasionada por *G. fujikuroi*. La infección ocurre en granos aislados, raramente se da en forma generalizada. A medida que la infección progresa, se observan los granos podridos con micelio algodonoso color rosado a salmón que los cubre. Si el ataque no es muy severo los granos quedan con el pericarpio sin brillo y una zona arrugada y más oscura sobre el embrión y estrías blanquecinas sobre la corona que pueden romperse

Las esporas del hongo se transmiten por semillas, crecen intercelularmente y llegan a las espigas para infectarlas o llega al cultivo desde los residuos de cosecha y de allí llegan a la espiga e infectan a través de los estigmas por lo que se observa en granos salteados. En los sectores donde hubo daño por insectos, granizo o aves también desarrolla el patógeno observándose el desarrollo del micelio algodonoso blanco-rosado (Fig. 5.13). Al igual que *G. zeae*, *G. fujikuroi*, además de reducir los rendimientos produce micotoxinas del tipo de las fumonisinas que afectan el valor alimenticio de los granos de maíz y sus productos derivados para el consumo humano y animal (polenta, copos, harina de maíz, etc.). Las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad son elevadas temperaturas y ambiente seco, cultivo bajo estrés, carencia de potasio o exceso de nitrógeno.

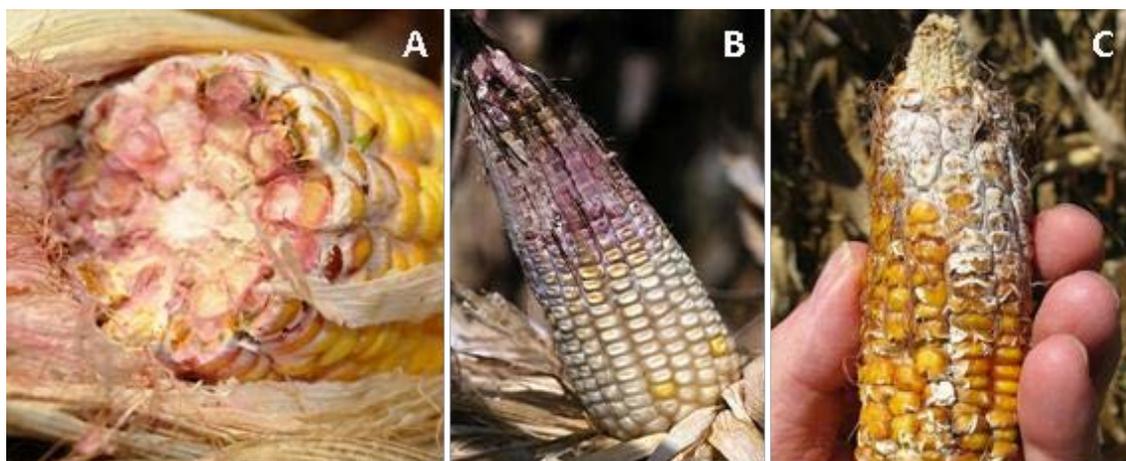


Figura 5.13. **A** y **B**. Podredumbre de la espiga ocasionada por *G. zeae* en espigas de maíz. **C**. Podredumbre de la espiga ocasionada por *G. fujikuroi*. Fuente: Scot (2008b), CIMMYT (2006k; l) respectivamente

Para el manejo de estas podredumbres se recomienda utilizar cultivares resistentes, realizar rotación de cultivos, eliminar malezas o insectos, evitar daños mecánicos (que son vía de ingreso de los patógenos), cosechar el grano con contenido de humedad menor al 15% o secarlo antes del almacenamiento y almacenar en condiciones adecuadas de humedad y temperatura (13 al 15% y menores a 10°C respectivamente) y control químico en granos almacenados (Sillón, 2008).

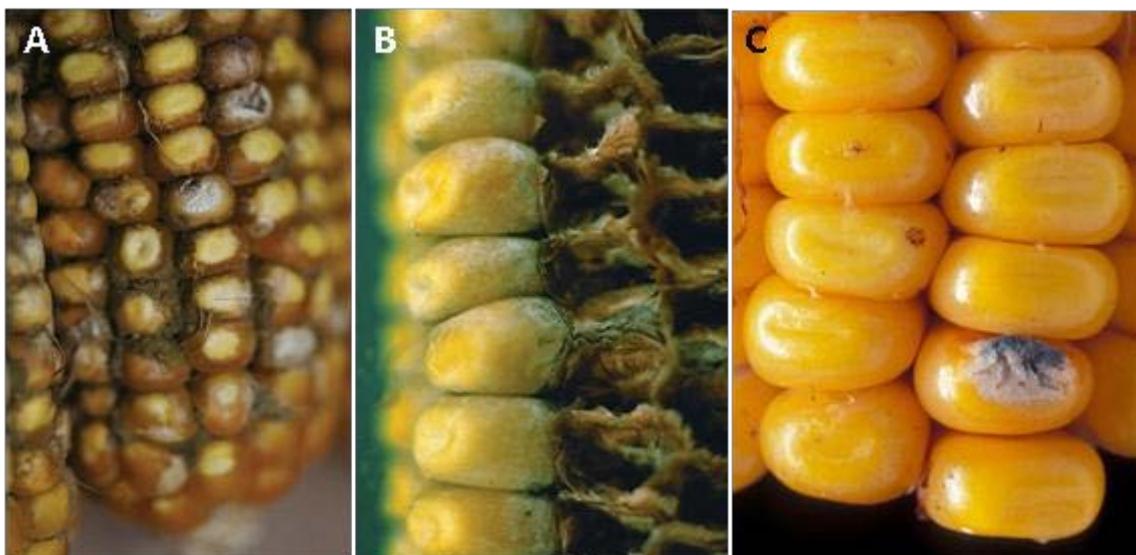


Figura 5.14. **A.** Podredumbre de la espiga ocasionada por *A. flavus* en espigas de maíz. **B y C.** Podredumbre de la espiga ocasionada por *Penicillium* spp. Fuente: CIMMYT (2006m; n) y Department of Plant Pathology Archive (2007b) respectivamente

Otros hongos causantes de podredumbres en la espiga son:

- ***Nigrospora oryzae*** (Berk. & Broome) Petch. forma sexual *Khuskia oryzae* ocasiona la desintegración completa del marlo, la espiga parece sana por fuera, si bien quedan disecadas o momificadas y no pesan. La parte interna de la espiga y los granos quedan ennegrecidos. Los granos infectados desarrollan plantas jóvenes que mueren lentamente mostrando una decoloración púrpura (no es común). El hongo es necrotrófico y por lo tanto sobrevive en los rastrojos.
- ***Physozpora zae*** Stout. Este patógeno produce, al inicio de su infección síntomas similares a los de *S. maydis* (uno de los agentes causales de la podredumbre de la espiga), apareciendo un micelio blanco-grisáceo que crece entre los granos y las brácteas, que luego se decoloran y se aglutinan. En etapas posteriores puede diferenciarse bien produciendo una pudrición gris de la mazorca, la cual adquiere un marcado color negro. El micelio es oscuro y con presencia de esclerocios, mientras que cuando interviene *S. maydis* la mazorca queda de color gris-pardusco y con micelio blanco y presencia de picnidios.

También *Aspergillus niger* Van Tieghem produce podredumbres de color negro, *Aspergillus flavus* Link verdoso (Fig. 5.14) y *Penicillium* spp. también verde que pueden continuar en granos almacenados (Fig. 5.14).

Enfermedad de Río Cuarto (Mal de Río Cuarto, MRC)

Es considerada la enfermedad más importante del cultivo de maíz en nuestro país, que fue detectada en el sur de Córdoba en la década del '60 y se ha extendido a toda la zona maicera en forma endémica (Lenardón *et al.*, 1999). Puede infectar al cultivo en diferentes momentos del ciclo fenológico. Cuando el virus infecta en estado de coleoptile o plántula, las plantas crecen enanas y mueren tempranamente; si el virus infecta posteriormente las plantas se observan con crecimiento anormal, enanas, tallos con acortamiento de entrenudos, achatados, sistema radicular reducido y con lesiones necróticas, hojas superiores reducidas, mosaico tenue en estrías longitudinales, panojas atrofiadas con flores total o parcialmente ausentes, espigas mal formadas con proliferación, poco desarrolladas con poca producción de granos o ausentes; si el virus infecta cuando la planta ya tiene ocho o más hojas desarrolladas, la sintomatología que se presenta es muy leve y los daños son menores ya que los órganos reproductivos se encuentran diferenciados. Un síntoma característico de este virus es la presencia de "enaciones", pequeñas verrugas que aparecen en las hojas a causa de proliferación anormal de las células de los tejidos vasculares.

El virus es transmitido por insectos vectores, las chicharritas *Delphacodes kuscheli* y *D. haywardi* (homópteros) siendo la más difundida la primera. Las poblaciones de *Delphacodes* son bajas en otoño-invierno y se incrementan a partir de agosto a septiembre con niveles de riesgo de octubre a diciembre infectando a avena, trigo, cebada, centeno, mijo (*Panicum miliaceum* L.), sorgo y algunas malezas como *Arundodonax*, *Cenchrus echinatus*, *Cenchrus pausiflorus*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus* spp., *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa colonum*, *Eleusine indica*, *Eragrostis virescens*, *Setaria* spp., *S. halepense*. Como la eficiencia de transmisión por el vector es baja se necesita una alta densidad poblacional del vector y movilidad para producir una epifitía (Escande, 2000). De allí pueden trasladarse al maíz cuando hay altos niveles poblacionales, deterioro o senescencia de estos cultivos. La enfermedad es monocíclica y produce reducción en los rendimientos de granos y de rastrojo.

Las condiciones que predisponen al maíz frente a la enfermedad son aquellas que producen estrés en las plantas tales como el viento, fuertes lluvias que producen el planchado, sequías después de la siembra y cultivares susceptibles. Las altas temperaturas y baja humedad relativa la incrementan. No se transmite por semilla (Lenardón *et al.*, 1999).

Para el manejo se recomienda como escape el adelantamiento de la fecha de siembra para evitar que el pico poblacional de la chicharrita que es en diciembre coincida con estadios iniciales del cultivo; utilización de híbridos tolerantes y aplicación de insecticidas sistémicos en estado de coleoptile-plántula para controlar el vector y el control de malezas, eliminación de plantas guachas y rotaciones.

Virus del mosaico enanizante

Otra virosis es la causada por el Maize Dwarf Mosaic Virus (MDMV), que se transmite por pulgones y por semilla, siendo reservorio principal el sorgo de Alepo donde inverna, produce mosaico y aclaramiento y engrosamiento de nervaduras (Fig. 5.3). Reduce

el número de espigas.planta⁻¹ y el peso de los granos. Las medidas de control son similares a las del mal de Río Cuarto.

D. En granos

Podredumbre

Algunas especies de hongos que provocan la podredumbre de espigas y granos, luego atacan a los granos durante el período de almacenamiento. O sea que comienzan sus ataques cuando el contenido de humedad es elevado (por encima del 18%) y continúan aún cuando la humedad está entre 14 y 18%. El problema se agrava cuando el grano no está bien seco antes del almacenamiento o estas condiciones no son las adecuadas.

Los agentes causales más comunes pertenecen al género *Penicillium*, representados por *P. oxalicum* Currie & Thomy y *P. viridicatum* Westling que provocan la afección conocida como “verdín” o “moho verde” (Fig.5.14). Como consecuencia de la infección en la zona del escudete se observa una coloración interna verdosa, que se transparenta a través de l pericarpio. Éste inicialmente se mantiene intacto y luego se raja dejando en libertad un polvillo verdoso constituido por las esporas del hongo. Los granos afectados tienen un olor a humedad característico.

Otros hongos patógenos frecuentes en granos pertenecen al género *Aspergillus* spp. Los granos afectados por esta podredumbre se observan enmohecidos, de color negro o color verdoso según el patógeno involucrado (*A. niger* y *A. flavus* respectivamente) (Fig.5.14). Los granos dañados por insectos y la alternancia de períodos secos y húmedos predisponen a la infección de estos patógenos. La importancia no solo radica en la pérdidas de rendimiento que ocasionan sino también porque producen micotoxinas del tipo aflatoxinas (*A. flavus* y *A. niger*) y citrinina (*P. viridicatum*).

En general, la proliferación de estos hongos es favorecida por malas condiciones de almacenamiento, esto es alta temperatura y principalmente alta humedad. Las pérdidas que estas enfermedades ocasionan en los granos se castigan con el estándar de comercialización, directamente por el porcentaje de granos afectados e indirectamente por el olor a moho que presentan esas partidas.

Bibliografía

- Alippi A. & López A.C.(2010). First report of leaf spot disease of maize caused by *Pantoea anatis* in Argentina. Plant Disease 94: 487.
- Bachi P. (2008). Downy mildew *Sclerophthora macrospora*. University of Kentucky Research and Education Center, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5368900> Último acceso: Junio de 2015.

- Bachi P. (2009). White ear rot and seedling blight of maize *Stenocarpella maydis*. University of Kentucky Research and Education Center, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5405277>. Último acceso: Junio de 2015.
- Bodega J.L. (2010). *Diplodiosis, enfermedad causada por micotoxinas en maíz*. Hongos en los rastrojos de maíz, problemas en las vacas. Producir XXI 18:24-34.
- California Department of Food and Agriculture. 2008. Head smut *Sphacelotheca reiliana*. Bugwood.org. Disponible en: <http://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5366649> Último acceso: Junio de 2015
- Canale A., Ferreira L., Couretot L. & Magnone G. (2011). Evaluación de *Puccinia sorghi* en ensayos de híbridos de maíz en dos localidades del sur de Córdoba. Actas II Congreso Argentino de Fitopatología, Mar del Plata 2011.p.50
- Carmona M., Formento N. & Scandiani, M. (2012). *Carbón común del maíz*. Revista Institucional Siembra Directa 110: 36- 38.
- Carmona M., Reis E.M. & Gally M. (2006). *Pudriciones de tallo y de raíces en el cultivo de maíz*. Revista Maíz en Siembra Directa AAPRESID. pp. 86-89.
- CIMMYT. (2006a). *Charcoal ear rot on maize*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/cimmyt/4911588364/in/album-72157624665049585/> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2006b). *Mosaico del enanismo del maíz*. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/mosaico-del-enanismo-del-maiz> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2006c). Pudriciones de tallo por *Gibberella* y *Fusarium*. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/pudriciones-de-tallo-por-gibberella-y-fusarium> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2006d). *Pudrición carbonosa del tallo*. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/pudricion-carbonosa-del-tallo> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2006e). Pudrición de tallo por *Stenocarpella*. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/pudricion-de-tallo-por-stenocarpella> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2006f). *Roya común*. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/roya-comun> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2006g). *Polysora rust on maize*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/cimmyt/4885430621> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2006h). *Maize leaf showing necrotic lesions caused by yellow leaf blight (Mycosphaerella zeae-maydis, anam. Phyllosticta maydis)*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/cimmyt/4888062953> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2007i). *Achaparramiento de maíz*. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/achaparramiento-del-maiz> Último acceso: Junio de 2015.

- CIMMYT. (2007j). *Carbón común del maíz*. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/carbon-comun> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2007k). *Gibberella ear rot on maize*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/cimmyt/4911585096> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2007l). *Fusarium ear rot on maize*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/cimmyt/5124336192> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2007m). *Aspergillus ear rot on maize*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/cimmyt/4911584828/in/photostream/> Último acceso: Junio de 2015.
- CIMMYT. (2007n). *Penicillium ear rot on maize*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/cimmyt/4911584356/in/photostream/> Último acceso: Junio de 2015.
- Couretot L. (2009). *Panorama sanitario del cultivo de maíz en la zona Norte de la Prov. de Bs. As. Campañas 2007/08-2008/09*. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext09/PANORAMASANITARIOMAIZ2009.pdf> Último acceso: Junio de 2015.
- Couretot L. (2011). *Principales enfermedades del cultivo de maíz*. Actas de la VI Jornada de Actualización Técnica de Maíz. Pergamino, 9 de Agosto de 2011.p.52
- Couretot L., Parisi L., Hirsch M., Suarez M.L., Magnone G. & Ferraris G. (2013). *Principales enfermedades del cultivo de maíz en las últimas campañas y su manejo*. EEA Pergamino. Ing. Agr. Walter Kugler. Proyecto Regional Agrícola CRBAN. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/principales-enfermedades-del-cultivo-de-maiz-en-las-ultimas-campanas-y-su-manejo>. Último acceso: Junio de 2015.
- Croissant R.L. (2008). Head smut *Sphacelotheca reiliana*. Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5361261> Último acceso: Junio de 2015.
- De Rossi R.L., Plazas M.C., Brucher E., Ducasse D. & Guerra. G. (2010). El tizón del maíz (*Exserohilum turcicum*), presencia e impacto en el centro norte de Córdoba durante tres campañas agrícolas. Actas IX Congreso Nacional de Maíz, Rosario.p.54
- Department of Plant Pathology Archive (2007a). Grey leaf spot *Cercospora zea-maydis*. Department of Plant Pathology Archive, North Carolina State University, Bugwood.org Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1524196> Último acceso: Junio de 2015
- Department of Plant Pathology Archive. (2007b). *Penicillium* fungi. North Carolina State University, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1524053>. Último acceso: Junio de 2015.
- Escande, A.R. (2002). *Manejo de la sanidad* En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F. Andrade & V. Sadras (Eds.) pp. 377-411.
- Eyherabide, G. & Presello, D. (2002). *La problemática de enfermedades en maíz*. El análisis desde el mejoramiento genético En Guía Dekalb del cultivo de maíz E. Satorre (Ed.),pp.

- 99- 115. Formento A.N. 2010. Enfermedades foliares re-emergentes del cultivo de maíz: Royas (*Puccinia sorghi* y *Puccinia polysora*), Tizón foliar (*Exserohilum turcicum*) y Mancha ocular (*Kabatiella zaeae*). Acta Técnica. N°2 Maíz, girasol y sorgo. INTA EEA Paraná. pp.10.
- Formento A.N. (2014). *La importancia del perfil sanitario de los híbridos de maíz*. Forratec newsletter 191. Disponible en: <http://forratec.com.ar/newsletter/fls-2014-08-30.html>. Último acceso: Junio de 2015.
- Giménez Pecci M.P., Maurino, F., Bisonard, E.M., Virla, M., Díaz, C., Vicondo, M. Ruiz Posse, M.P., Druetta, M. & Laguna, I.G. (2012). *Panorama actual de dos enfermedades del maíz causales de pérdidas en Argentina*. Maíz 2012 AAPRESID: 111-115.
- Heredia A.M., Díaz C., Aguaysol C., Britos M., Cáceres F. & Ramallo, J.C. (2008). *Distribución y progreso temporal de la mancha gris del maíz en Tucumán, Argentina*. I Congreso Argentino de Fitopatología. Libro de resúmenes. Córdoba, 28 al 30 de Mayo de 2008. pp.185
- Lenardón S.L., March G.J. & Omaghi J.A. (1999). *Virus del mal de Río Cuarto en maíz*. En: Lenardón S.L. Proyecto de investigaciones en fitovirología, INTA-JICA. Hoja informativa de enfermedades de los cultivos extensivos e intensivos. INTA-JICA. Hoja informativa de enfermedades de los cultivos extensivos e intensivos. Maíz 2: 1-7.
- Martínez, C. (1980). *La podredumbre del tallo de maíz*. INTA. EERA Pergamino. Publicación Miscelánea 32. 20pp
- Mc Grath M. (2013a). Northern corn leaf blight *Exserohilum turcicum*. Cornell University, Bugwood.org Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5505138> Último acceso: Junio de 2015.
- Mc Grath M. (2013b). Northern corn leaf blight *Exserohilum turcicum*. Cornell University, Bugwood.org Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5505139> Último acceso: Junio de 2015
- Mc Grath M. (2013c). Northern corn leaf blight *Exserohilum turcicum*. Cornell University, Bugwood.org Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5505141> Último acceso: Junio de 2015.
- Mergaert J., Verdonck L. & Kersters, K. (1993). Transfer of *Erwinia ananas* (synonym, *E. uredovora*) and *Erwinia stewartii* to the genus *Pantoea* emend. As *Pantoea ananas* (Serrano 1928) comb. nov. and *Pantoea stewartii* (Smith 1898) comb. nov., respectively and description of *Pantoea stewartii* subsp. *indologenes* subsp. nov. International Journal of Systematic Bacteriology 43, 162-173.
- Mueller D. (2012a). Common corn rust *Puccinia sorghi*. Iowa State University, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5465565> Último acceso: Junio de 2015.

- Mueller D. (2012b). Eye spot *Kabatiella zaeae*. Iowa State University, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5465601> Último acceso: Junio de 2015.
- Mueller D. (2012c). Downy mildew *Sclerophthora macrospora*. Iowa State University, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5465582> Último acceso: Junio de 2015.
- Ollie M. (2010). Corn Anthracnose *Glomerella graminicola*. Disponible en: http://gardener.wikia.com/wiki/File:Corn_Anthracnose_Glomerella_graminicola.jpg Último acceso: Junio de 2015.
- Parisi L. & Couretot, L. (2014). *Evaluación de enfermedades foliares de híbridos comerciales*. Siembra tardía campaña 2013/2014. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/pergamino>. Último acceso: Enero de 2015.
- Parisi L. & Couterot L. (2012). *Aspectos fitosanitarios y comportamiento de cultivares de maíz en siembras tardía*. Campaña 2011/12.EEA Pergamino "Ing. Agr. Walter Kugler". Disponible en: <http://www.inta.gov.ar> Último acceso: Junio de 2015
- Parisi L., Couterot L., Fernandez M., Hirsch M., Magnone G. & Ferraris, G. (2014). *Caracterización de enfermedades foliares y podredumbre de tallo en un ensayo comparativo de rendimientos de maíz de segunda*. 2004. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar>. Último acceso: Junio de 2015. De León, C. 1974 2004. *Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo*. Cuarta edición. México, D.F, CIMMYT. 77pp.Scot N. 2008a. *Gibberella ear rot (Gibberella zaeae) on Corn (Zea mays) at Waimea, Hawaii*. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gibberella_ear_rot_\(Gibberella_zaeae\)_on_Corn_\(Zea_mays\)_at_Waimea,_Hawaii.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gibberella_ear_rot_(Gibberella_zaeae)_on_Corn_(Zea_mays)_at_Waimea,_Hawaii.jpg) Último acceso: Junio de 2015.
- Scot N. (2008b). *Gibberella ear rot (Gibberella zaeae) on Corn (Zea mays) at Waimea, Hawaii*. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/62295966@N07/5791771636> Último acceso: Junio de 2015.
- Serrano F.B. (1928). *Bacterial fruitlet brown-rot of pineapple in the Philippines*. The Philippine Journal of Science 36: 271-305.
- Sillón M. (2008). *Maíz. Manual práctico de enfermedades*. Ediciones Syngenta. 35 pp.
- Sisson A. (2012). *Bird cherry-oat aphid Rhopalosiphum padi (L.)* Iowa State University, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5471106> Último acceso: Junio de 2015.
- Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas, SINAVIMO. Servicio nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Disponible en: <http://www.sinavimo.gov.ar/> Último acceso: Junio de 2015
- Warham E.J., Butler L.D. & Sutton B.C. (1998). *Ensayos para la semilla de maíz y de trigo: Manual de laboratorio*. México, CYMMYT. 84 pp.

- Wells J.C. (2007). Anthracnose *Colletotrichum graminicola*. North Carolina State University, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1524009> Último acceso: Junio de 2015.
- Wels H.G., Kolher W. & Leonard K.J. (1994). *Isozyme variation within and among pathogenic races of Cochliobolus carbonum on corn in North Carolina*. The American Phytopathological Society 84: 31-38.
- Windauer L.B., Gil A., Guglielmini A.C. & Benech-Arnold R.L. (2003). *Bases para el control y manejo de enfermedades en cultivo para granos*. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. E.H. Satorre, R.L. Benech-Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui & R. Savin (Coord.) 1^{er} Edición, Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 653-681.

CAPÍTULO 6

Maíz: Manejo de plagas

*María Rosa Simón, Juan Ignacio Dietz
y Matías Schierenbeck*

Introducción

El concepto de plagas se refiere al conjunto de individuos de una especie que independiente o en combinación con otras especies afectan el rendimiento y/o calidad y consecuentemente el valor económico de la producción. Diversos factores relacionados con la ecología de poblaciones y su interacción con el ambiente determinan que un insecto alcance determinados niveles de densidad poblacional en un determinado momento y lugar.

La siembra directa y la aplicación de tratamientos preventivos de insecticidas junto con los herbicidas que ejercen influencia en los controladores biológicos, han incrementado la presencia de algunas plagas que resultan favorecidas por la ausencia de laboreo, tal el caso de gusanos alambres, gusanos blancos, orugas cortadoras, grillos subterráneos, tucuras y otras.

Asimismo algunas plagas se encuentran también en la soja como la oruga cogollera, *Spodoptera frugiperda* Smith o son propias de la soja y afectan también al maíz como la chinche de los cuernos *Dichelops furcatus* Fabricius. La interacción entre las plagas y los cultivos dependerá de factores propios de cada uno de ellos que son modificados por el manejo y el ambiente (Gil *et al.*, 2012).

Del cultivo:

- Estado ontogénico en que se produce el ataque, por ejemplo un ataque temprano del barrenador del tallo causará más daños que uno tardío.
- Estado nutricional e hídrico, por ejemplo la tolerancia a la defoliación por isocas cortadoras, será diferente según el índice de área foliar generado.
- Nivel de rendimiento esperado. Algunos modelos de simulación han permitido determinar que en algunos casos la reducción del rendimiento es mayor cuando el nivel de rendimientos esperados aumenta.

- Material genético: incluye los diferentes niveles de resistencia, como así también evasión, escape y tolerancia.
- Destino de la producción: de acuerdo al destino de la producción, las exigencias de calidad pueden variar y por lo tanto se aceptarán diferentes niveles de daño.

De la plaga:

- Dinámica poblacional: el manejo de plagas exige conocer los parámetros que las caracterizan, en cuanto a evolución del número de individuos, sus estados de desarrollo, tasa de natalidad y mortalidad. También el número de generaciones de un insecto puede determinar su peligrosidad.
- Comportamiento alimentario y reproductivo: de acuerdo al estadio larval el consumo puede ser nulo o causar pérdidas importantes.
- Enemigos naturales: el número de individuos de un insecto puede variar si en el sistema hay presentes enemigos naturales.
- Comportamiento frente a mecanismos de defensa: como por ejemplo insectos que detoxifican sustancias nocivas.
- Temperatura: modifica la duración de los estadios larvales e influye sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo.
- Agua: regula la presencia de ciertas plagas y el crecimiento del cultivo.

Del manejo:

Las labranzas, la densidad y fecha de siembra y la fertilización modifican las relaciones entre la plaga y el cultivo. Por ejemplo la siembra directa modifica las características fisicoquímicas del suelo, favoreciendo a los insectos del suelo. Un adelanto en la fecha de siembra disminuye la probabilidad de ataque de *Diatraea saccharalis* Fabricius.

Efecto de las plagas sobre los cultivos

Una clasificación de las plagas animales en base a la generación de biomasa y efectos sobre el rendimiento (Boote *et al.*, 1983, Gil *et al.*, 2012) nos permite mencionar a aquellos que afectan la biomasa total a) reductores de "stand": orugas cortadoras, aves, gusanos de suelo, nematodos, hormigas, moscas de semillas y liebres b) consumidores de tejidos: orugas cortadoras, barrenadores, orugas desgranadoras c) reductores de intercepción de radiación que aceleran la senescencia de hojas: trips, ácaros d) reductores de fotosíntesis y/o respiración: pulgones e) succionadores: chinches, pulgones, f) reductores de turgencia: insectos de raíces. Varios insectos pueden incluirse en más de una categoría (Fig.6.1).

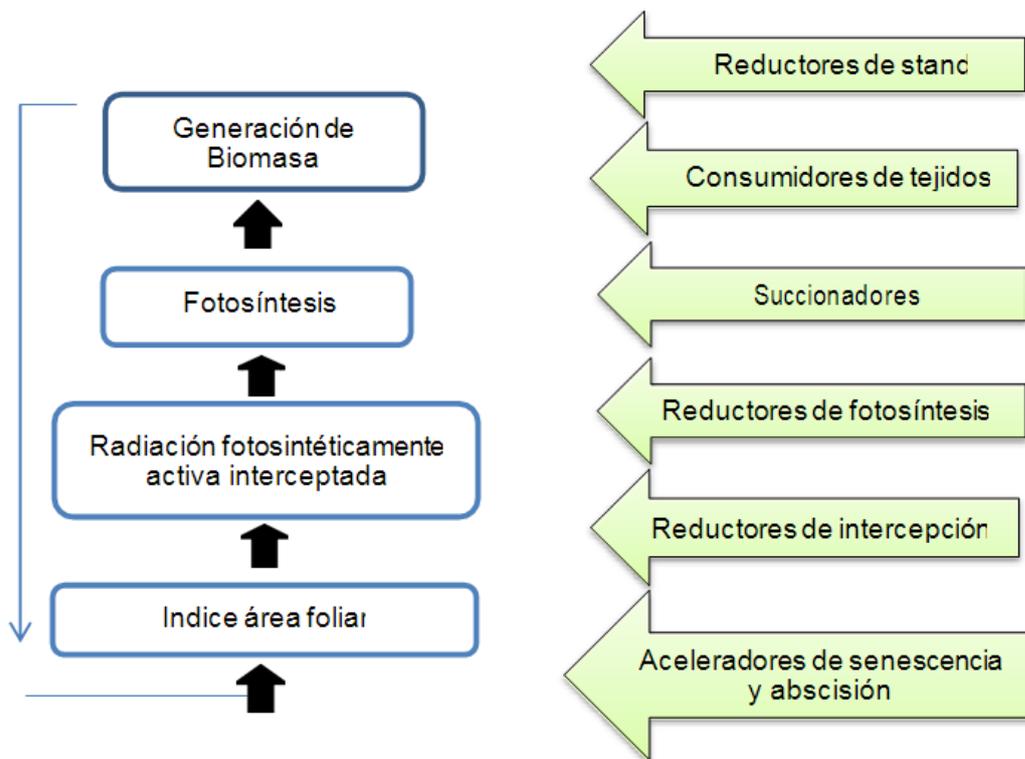


Figura 6.1. Daño ejercido por las plagas en los cultivos. Adaptado de Gil *et al.* (2012)

Las plagas más importantes en el cultivo del maíz se esquematizan en la Fig 6.2, en la cual se relaciona la aparición de las mismas con el ciclo ontogénico del cultivo. La Fig.6.2 es orientativa y tanto los factores ambientales, como la época de siembra pueden incidir en los estadios en que se produce el mayor ataque.

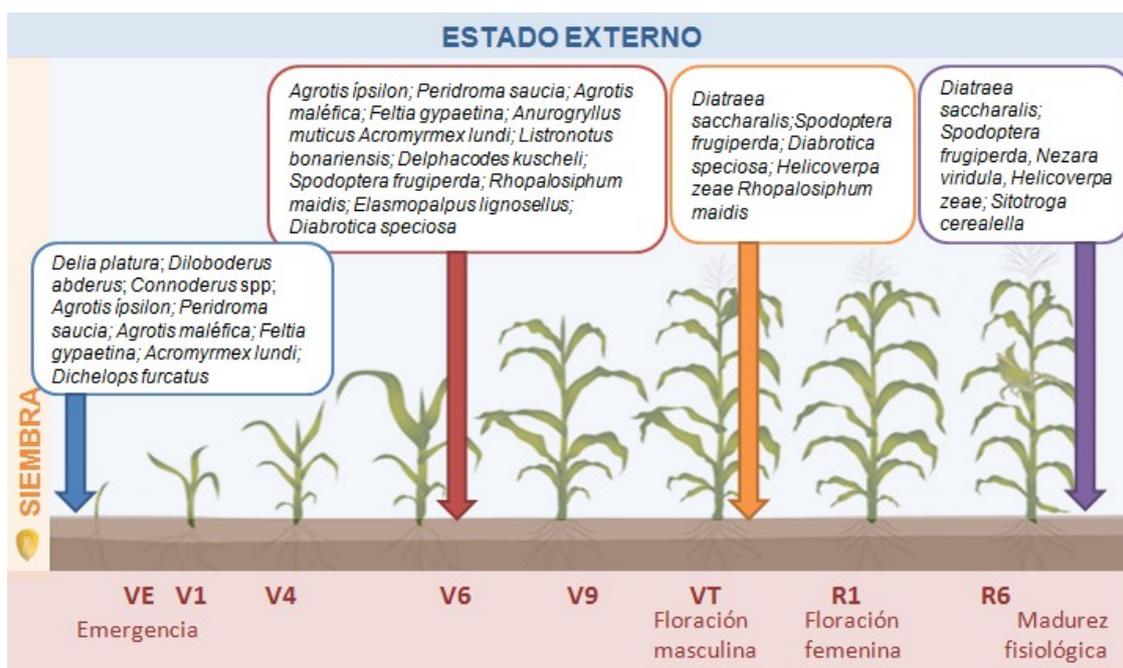


Figura 6.2. Principales plagas insectiles en diferentes estadios fenológicos del maíz. Adaptado de Andrade *et al.* (1996)

¿De qué manera puede una planta, incapaz de moverse, sobrevivir en un mundo poblado de tantas especies de insectos? (Panda & Khush, 1995). Las plantas tienen una serie de mecanismos de resistencia que les permiten evitar o tolerar el efecto de la herbivoría (Rosenthal & Kotanen, 1994). El escape se ha identificado como un mecanismo previo a la resistencia. El escape permite que mediante la manipulación de la fenología del cultivo, el momento crítico del cultivo no coincida con los picos poblacionales de las plagas. Por ejemplo, la elección de la fecha de siembra en maíz permite que los picos poblacionales de *Diatraea saccharalis* o del vector del mal de Río Cuarto, *Delphacodes kuscheli* Fennah, no coincidan con los momentos de mayor susceptibilidad del cultivo.

Las defensas son características físicas y químicas de las plantas que impiden o detienen el consumo, o matan a los herbívoros (Harborne, 1991, Myers & Bazeli, 1991). Las defensas físicas incluyen a los pelos glandulares o urticantes, depósitos cuticulares y epidermis gruesa (Ingrouille, 1992). Las defensas químicas involucran la producción de metabolitos secundarios, entre ellos los terpenos de maíz (Birch *et al.*, 1992, Turlings *et al.*, 1990). Estas defensas pueden ser constitutivas o inducidas. Las primeras están siempre presentes independientemente de que existan daños por herbivoría (Tuomi *et al.*, 1991), en tanto que las inducidas son respuestas físicas, nutricionales y aleloquímicas que ocurren en las plantas en respuesta a un daño o estrés (Landis & Marino, 1999).

Posterior a los mecanismos de defensa se encuentra la tolerancia que es la capacidad de las plantas de soportar daños sufriendo menos impacto en su crecimiento y reproducción y consecuentemente en el rendimiento (Mauricio *et al.*, 1997). Puede actuar a nivel de planta individual o poblacional. A nivel individual, el daño puede ser compensado a través de diferentes mecanismos 1) a partir de la activación de meristemas axilares, 2) retrasando la senescencia de las hojas remanentes, 3) aumentando la tasa de división o crecimiento celular de nuevas hojas, 4) modificando la actividad fotosintética de las hojas no dañadas (Crawley, 1983, Trumble *et al.*, 1993).

La respuesta alcanzada en un sistema cultivo-plaga depende de las características de la planta (capacidad de acumular reservas, grado de dominancia apical) habiéndose detectado variabilidad para caracteres relacionados con la tolerancia (Sadras & Fitt, 1997). Depende también de las características de la plaga como momento, intensidad y duración de daño, de factores ambientales y del tiempo disponible para el crecimiento luego del daño (Oosterheld & Mc Naughton, 1991; Sadras, 1995).

A nivel cultivo, la pérdida parcial o total de plantas puede ser compensada por las plantas vecinas a través de la captura de los recursos que quedan liberados (Turnipseed & Kogan, 1987). Así la pérdida de rendimiento es compensada no por el propio individuo sino por el crecimiento diferencial de plantas aledañas que no sufrieron daños. La reducción de rendimiento será mayor si las pérdidas de plantas ocurren en manchones (Jones *et al.*, 1955)

Los insectos perjudiciales se pueden agrupar en aquellos que ocasionan daños en órganos vegetativos que pueden atacar en los primeros estadios o cuando el cultivo está más desarrollado y los que lo ocasionan en órganos reproductivos (Fig. 6.2).

A. Ocasionan daño en órganos vegetativos

Mosca de la semilla

Organismo causal: La especie más difundida es *Delia platura* Meig

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Se trata de especies de dípteros, cuyas larvas destruyen el germen de las semillas recién germinadas, pudiendo también barrenar las plántulas. El adulto de esta especie es en general una mosca pilosa de menor tamaño que la mosca común. Esta mosca ovipone en el suelo emergiendo las larvas en 2 o 3 días, este estadio que dura 15-20 días es el único que ocasiona daños (Quintana, 1964). Atacan la zona del germen de semilla, destruyendo o deteriorando el embrión, por lo que emergen plantas deformes (Fig. 6.3 A). Son portadoras de bacterias asociadas a procesos de putrefacción, por lo que las partes afectadas se destruyen rápidamente (también intervienen patógenos del suelo que ven facilitado su ingreso) (Damilano & Brugnoli, 1980) (Fig. 6.3 B). Empupan bajo tierra y la larva puede pasar la temporada fría dentro del pupario o emerger el adulto en 7-10 días reinfectando el lote en siembras escalonadas.



Figura 6.3. A. Daños causados por *Delia Platura* en plántulas de poroto. B. Larvas de *Delia Platura* atacando granos de maíz. Fuente: Cranshaw (2007) y Sobieski (2011) respectivamente

Control: El ataque se favorece con clima frío y húmedo y suelo rico en materia orgánica. El control químico se basa en la utilización de insecticidas “curasemillas”.

Gusanos blancos y gusanos alambre

Organismo causal: Entre los “gusanos blancos” se encuentran varias especies de coleópteros con larvas escarabeiformes como *Diloboderus abderus* Sturm, *Lyogenis* spp.,

Bothinus spp., etc. Entre los gusanos alambre las especies más comunes son *Conoderus* spp. y *Agriotes* spp

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Los insectos de suelo comprenden un gran número de especies que cumplen algunos de sus estadios en el suelo y que provocan daños de distintos tipos. La importancia de los ataques depende de las condiciones climáticas, el tipo de suelo, el tipo de labranza, el cultivar, la fecha de siembra, las malezas presentes y la existencia de enemigos naturales. En todos los casos las larvas causan daño directo ya sea alimentándose de la semilla en germinación, destruyendo raíces o cortando plántulas, reduciendo el stand de plantas.

El “bicho torito” es particularmente importante cuando se destinan al maíz lotes provenientes de pradera o con labranza reducida, dado que el adulto tiene predilección por ovipositar en terrenos duros y de menor exposición al control biológico, especialmente por aves (Fig. 6.4). Las hembras fecundadas hacen vuelos cortos y cuevas pequeñas de 10-15 cm de profundidad (Torres *et al.*, 1976) y depositan los huevos (esféricos y blancos) que en 7 a 10 días dan lugar a larvas en forma de “c” (Alvarado, 1979), que se conocen con el nombre de gusanos blancos. Estas larvas viven enterradas y con la llegada de las bajas temperaturas profundizan en el suelo, ocurriendo lo contrario con el advenimiento del calor, tienen tres estadios larvales, siendo el maíz de siembras tempranas el más afectado (Alvarado, 1979). Se alimentan de tierra, pero también cortan y comen raíces. Hacia fines de octubre entran en el período de prepupa, con poca actividad y luego empupan en una cámara subterránea que ellos mismos elaboran, para luego dar origen al adulto. Tienen una generación por año.

Los daños son más importantes cuando el cultivo sucede a una pastura (Alvarado, 1980). Tienen una importante diversidad de enemigos naturales. Los daños son mayores en las primeras etapas del cultivo, previo a la emergencia, momento en que las larvas pueden alimentarse de semillas. Si hay síntomas generalizados de daños, es necesario resembrar con un previo tratamiento químico del suelo o con semilla tratada. En la etapa vegetativa consume hojas y raíces y luego de V6, el daño se restringe a las raíces, que ya tienen un desarrollo que les permite sobrevivir (Alvarado, 1979).

Los “gusanos alambre” son larvas elateriformes, que se alimentan de las semillas en germinación, raíces y partes subterráneas del tallo, se encuentran en terrenos con varios años de agricultura. Son larvas amarillentas a marrón claro de unos 20 mm de longitud, y los adultos saltan si se los coloca sobre su dorso en el suelo (Fig. 6.6 y 6.7).

Control: Los daños son mayores en siembras tempranas. El nivel de decisión de control es de 5-6 larvas por metro cuadrado, con insecticidas incorporados al suelo o tratamientos químicos de semilla (Alvarado, 1979, 1980). Para los gusanos alambre pueden utilizarse terapicos de semilla o granulados en el surco de siembra.



Figura 6.4. Macho adulto de *Diloboderus abderus*. Fuente: Alejo Alvarez (2008)



Figura 6.5. Macho adulto *Bothynus complanus*. Fuente: John Ska (2013)



Figura 6.6. Larva de *Agrotis lineatus*. Fuente: Steaven (2009)



Figura 6.7. Larvas de *Conoderus* spp. Fuente: Brown (1990)

Orugas cortadoras

Organismo causal: Hay varias especies, entre ellas *Agrotis ípsilon* Hufnagel, *Peridroma saucia* Hübner que tienen varias generaciones por año y otras como *Agrotis maléfica* Guenée y *Feltia* (ex *Porosagrotis*) *gypaetina* Guenée que tienen una generación.

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Las larvas de este grupo pertenecen a la familia de los noctuidos, del orden lepidópteros. Se caracterizan por la rapidez y voracidad con que consumen la región del cuello de las plántulas, provocando caída y muerte de las mismas. Los adultos son mariposas nocturnas poco vistosas, grisáceas o parduzcas (Figuras 6.8 A y 6.9 B). Pueden tener más de una generación por año según la especie (Aragón, 1985, Cap et al., 1995) Los cortes se producen al ras del suelo o pocos centímetros debajo de la superficie, pudiendo en ataques intensos, obligar a resembrar (Figura 6.8 B). Estas orugas son de tipo eruciforme, de colores que permiten mimetizarse con el suelo. Las larvas tienen hábitos nocturnos, permaneciendo durante el día ocultas a pocos centímetros bajo la superficie del suelo (Figuras 6.8 C y 6.9 A). Sus ciclos varían según la especie, así por ejemplo para *Agrotis ípsilon*, que tiene tres generaciones anuales, los adultos aparecen en octubre o noviembre, coincidiendo la primera generación con la emergencia del cultivo. Ovipone en la cara inferior de las

hojas o rastrojo y pasa el invierno como pupa. Corta dos o tres plantas seguidas afectando la distribución en la línea de siembra y generando mayor crecimiento en plantas adyacentes, que si bien aumentan su rendimiento individual, no siempre alcanzan a compensar las faltantes (Vincini & Castillo, 2002). Tiene control natural producido por parasitoides (Sosa, 1990).

Si el ataque proviene desde lotes vecinos, el daño se observará en los bordes (manchones sin plantas), pudiendo luego extenderse a todo el lote. Como alternativa de diagnóstico se encuentran los sistemas de alarmas, por medio de captura de adultos con trampas de luz en otoño, o en pre-siembra y pre-emergencia por observación directa de larvas en los rastrojos asociados a malezas. Se pueden hacer muestreos en pre o post siembra, observando las plantas cortadas desde la base y podadas. Si la plántula de maíz tiene menos de cinco hojas, al estar el punto de crecimiento por debajo de la superficie del suelo puede rebrotar. El umbral es 5 a 7% de plantas cortadas y dos isocas por cada cien plantas, unas dos mil larvas.ha⁻¹ (Aragón *et al.*, 1997).

Control: El control químico se realiza con cebos tóxicos, con insecticidas aplicados al suelo o con tratamientos de las semillas con insecticidas sistémicos. Cuando el daño se ha localizado en manchones, el cebo debe aplicarse en las plantas sanas que bordean el manchón (Vincini & Sisti, 1984).



Figura 6.8. **A.** Adulto de *Agrotis ipsilon*. **B.** Ataque de *Agrotis ipsilon*. **C.** Larva *Agrotis ipsilon* Fuente: Dreiling (2012), Hantsbarger (2008) y Rasbak (2009) respectivamente

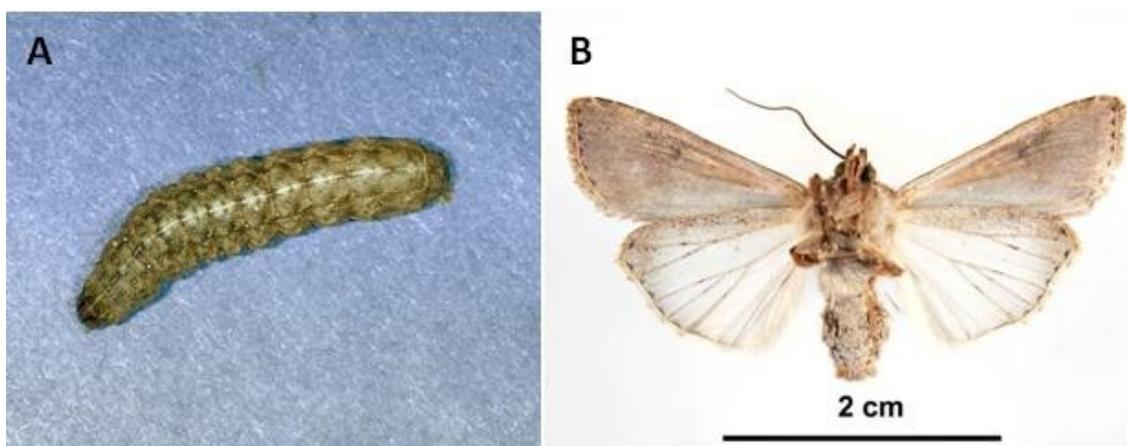


Figura 6.9. **A.** Larva *Peridroma saucia*. **B.** Macho adulto *Peridroma saucia*. Fuente: Hyche (2002) y Hamera (1960) respectivamente

Hormigas

Organismo causal: Acromyrmex lundii Guerin (hormiga negra)

Ciclo biológico, sintomatología y daños: El ataque de estos himenópteros de la familia de los formícidos es de gran importancia en la zona litoral norte y en los terrenos que provienen de desmonte. El daño de la hormiga negra, por sus características se confunde con el de otras plagas (Figura 6.10). Clava las mandíbulas cortando con movimiento circular alrededor del mismo. Cuando el corte le resulta dificultoso, insiste en diversos lugares quedando las típicas incisiones o escotaduras. Son activas desde las últimas horas de la tarde a las primeras de la mañana, el material que transportan al hormiguero sirve de sustrato para un hongo, que constituye el único alimento de la colonia. Otras especies son *Acromyrmex striatus* Roger, de color rojo sanguíneo (Fig. 6.11), *Acromyrmex lobicornis* Emery, de color ferruginoso oscuro a negro.

Control: Para su manejo, el control debe dirigirse al hormiguero, preferentemente entre marzo y octubre, mientras están trabajando con cebos tóxicos o insecticidas diluidos en agua sobre el hormiguero (Zunino, 1971, Aragón, 1998).



Figura 6.10. Adulto de *Acromyrmex lundii*. Fuente: April Nobile (2008a)



Figura 6.11. Adulto de *Acromyrmex striatus*. Fuente: April Nobile (2008b)

Grillo subterráneo

Organismo causal: Anurogryllus muticus De Geer

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Su incidencia se ha incrementado con la siembra directa, causando daño en plántulas de maíz y sorgo, las que corta y transporta a galerías subterráneas donde pone sus huevos (Aragón, 2002a).

Es de tamaño similar al grillo común (Figura 6.12), de color marrón claro y hace montículos de tierra similar a los gusanos blancos. Las ninfas alcanzan el estado adulto en noviembre y diciembre, que es el período de mayor daño de la plaga. Las hembras luego de poner sus huevos permanecen junto a las ninfas por varias semanas, luego las ninfas se dispersan y comienzan a construir sus propias galerías.

Control: Los arácnidos causan una importante mortalidad en esta etapa. Se debe muestrear profundizando la galería hasta alcanzar el fondo de la misma y a diferencia de los gusanos blancos que se visualizan fácilmente, se mimetizan con el suelo. El control se realiza con insecticidas, basándose en umbrales de uno a dos grillos.m⁻² y en aplicaciones nocturnas.



Figura 6.12. Adulto de *Anurogryllus muticus*. Fuente: Walz (2013)

Gorgojo de la corona

Organismo causal: Listronotus bonariensis Kuschel

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Con tiempo relativamente seco posterior a la siembra del maíz, es posible esperar el impacto de esta plaga conocida como "gorgojo de la corona" del maíz. Esta misma especie suele afectar al trigo en macollaje, y en este caso se la conoce como "gorgojo del macollo". En Argentina, la primer referencia sobre el ataque de este gorgojo en el cultivo de maíz data de la campaña 1995/96, detectado en algunos lotes del partido Pergamino y en el sur de Santa Fe, produciendo severos daños, los cuales se tradujeron en una reducción de la densidad del cultivo por muerte de plántulas, así como deformaciones y quebrado en plantas dañadas en estados vegetativos más avanzados.

La difusión de este problema dependerá fundamentalmente de las condiciones climáticas. El desarrollo e impacto podría generalizarse en zonas donde se acentúen condiciones de deficiencia hídrica, o bien quedar minimizado su impacto por la ocurrencia de lluvias de cierta importancia en el corto plazo. Se ha registrado que la presencia de raigrás en el lote constituye una condición predisponente al ataque de este gorgojo en maíz. El daño del gorgojo de la corona se puede producir tanto en híbridos convencionales como en maíces transgénicos Bt o MG.

Listronotus bonariensis se presenta en distintas gramíneas, mencionándose como principales hospederas al maíz, trigo, raigrás, cebadilla, centeno, avena y cebada. El adulto de este gorgojo es pequeño, presentando alrededor de 3 mm de largo, con un cuerpo de color grisáceo y cubierto por una capa cerosa con adherencia de partículas de tierra, lo cual no permite distinguirlo respecto del color del suelo (Fig. 6.13 A). Esta capacidad de alto mimetismo, su pequeño tamaño y la actitud de permanecer inmóvil y escondido entre los pequeños terrones de suelo, hacen prácticamente imposible su detección. Tampoco los huevos son fáciles de visualizar, ya que la hembra los coloca encastrados en la lámina de las pequeñas vainas, cerca de la base de las mismas y de la corona de la plántula. Los huevos son de aproximadamente 1 mm de largo, de color verde transparente cuando son recientemente colocados, tornándose a un color oscuro casi negro cuando están próximos a eclosionar. Es en este momento cuando es posible verlos más fácilmente, sobre todo con la ayuda de una lupa de mano. Las larvas son pequeñas, de color cremoso y cabeza color caramelo. Según bibliografía extranjera, se señala que el período de incubación de los huevos es de 7 a 15 días, el período larval transcurre en 30 días y el de pupa en alrededor de 13 días. Las larvas son más delgadas que las de *Diabrotica speciosa* Germar y de color blanco amarillento, en cambio las de *Diabrotica* son oscuras y pueden estar bajo el suelo. En plantas de menos de 15 cm producen la muerte, en plantas de mayor tamaño producen deformaciones, retorcimiento y aparición de macollos (Iannone, 2004) (Fig. 6.13 B).

Control: Con buena disponibilidad hídrica el daño se reduce. Para constatar la presencia del gorgojo de la corona del maíz, se determina la presencia de orificios circulares desuniformes, huevos encastrados en las vainas con aspecto de puntos oscuros, perforaciones en la zona de la corona producidas por las larvas que solo abandonan cuando se secan antes de que se transformen en pupa y deben pasar a otra planta. La correcta solución para esta problemática apunta a acciones preventivas mediante el tratamiento de semillas. Productos y dosis adecuadas para el control del bicho torito han dado buenos resultados en la protección contra esta plaga. El control con productos sistémicos en la semilla es la forma más adecuada, ya que aplicaciones sobre el cultivo solo han dado algún resultado en etapas tempranas (Iannone, 2004).

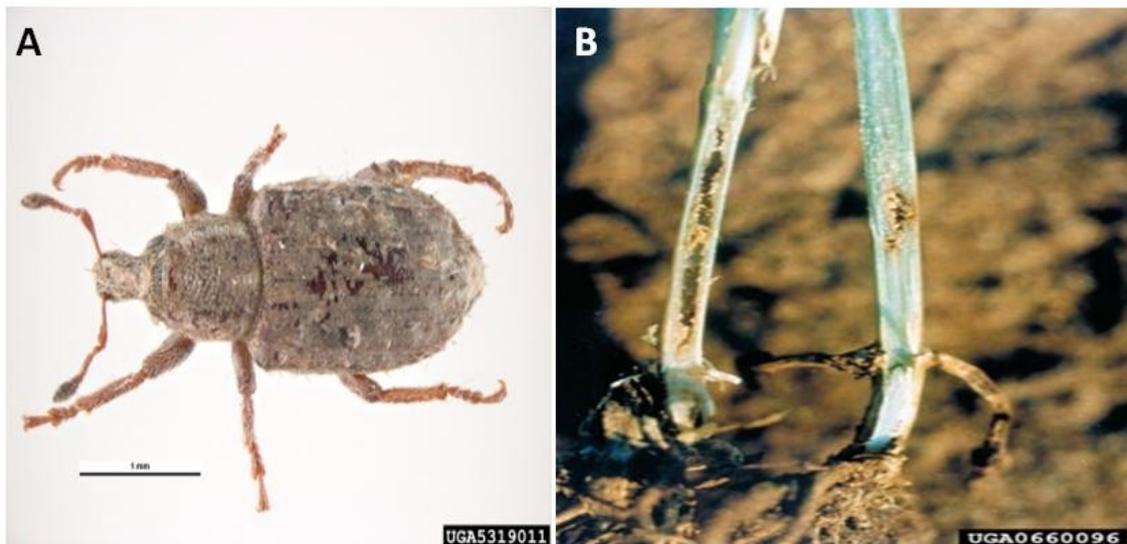


Figura 6.13. A. Adulto de *Listrionotus bonariensis*. B. Daño causado por *Listrionotus bonariensis*
Fuente: Pest and Diseases Image Library (2007a) y Goldson (2004) respectivamente

Chinche de los cuernos

Organismo causal: Dichelops furcatus Fabricius

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Si bien es más común en soja, se la encuentra frecuentemente en maíz y trigo. Pasa el invierno como adulto en el rastrojo de soja y en malezas y cuando comienzan a aumentar las temperaturas encuentran gramíneas como maíz y trigo sembradas sobre soja. Completa su ciclo en 2 meses y los adultos pueden vivir hasta 6 meses, desde el otoño hasta la primavera (Fig. 6.14). Tiene cinco estadios ninfales y puede desarrollar dos generaciones por año.

La chinche de los cuernos (*Dichelops furcatus*) es una especie considerada plaga desde el inicio del ciclo del cultivo, ya que inyecta toxinas en el tallo de las plántulas durante su proceso de alimentación causando reducción del stand o perjudicando el vigor. Las plántulas de maíz atacadas por chinches presentan luego del ataque síntomas muy característicos, como un crecimiento anormal de las hojas y perforaciones simétricas (Canale & Ferreira, 2013). Éstas presentan bordes amarillentos (diferentes a los que provocan los insectos masticadores), que se originan por la inyección de toxinas cuando el insecto se alimenta con sus estiletes bucales en las hojas pequeñas y aún envainadas del maíz, produciendo retorcimiento de plántulas, detención de crecimiento e incluso muerte de las mismas, generando una disminución del diámetro de tallos, número y peso de granos. El ataque de chinches en maíz joven, puede producir la aparición de macollos que afectan el posterior desarrollo del tallo principal (Aragón, 2002b). En la espiga se producen granos muy grandes, distribuidos en forma errática. Puede producir efectos graves cuando el cultivo está en sus primeros estadios vegetativos. El monitoreo debe realizarse en el rastrojo que protege a la plaga durante el invierno y debajo de éste y las malezas, antes y después de la emergencia del maíz y en lotes linderos, continuando la observación semanal de los lotes hasta V4. Las malezas

hospedantes son ortiga y malva, bolsa de pastor, comelina, cardos, bowlesia y ocucha. Estudios recientes realizados en Brasil, asocian la presencia de una especie del mismo género, *Dichelops melacantus* Dallas con plantas volcadas y quebradizas en maíces en V4-V5, con síntomas de ablandamiento y falta de lignificación en los nudos basales (Sosa & Gamundi, 2008) (Fig. 6.15). **Control:** En función de la información proveniente de Brasil con respecto a una especie relacionada, *Dichelops melacantus*, se recomienda un tratamiento previo a la siembra si el muestreo arroja una estimación de una chinche.m⁻² (Gassen, 1992), en los primeros días de post-emergencia de las plantas, ya que luego la toxina que inyecta el insecto ya fue introducida. El monitoreo de esta especie es más difícil que el de otras chinches, ya que es más escurridiza y generalmente se encuentra más protegida en el cogollo debajo del rastrojo por lo que pueden detectarse menos individuos de los que realmente existen. Estarán más visibles para su monitoreo en las primeras o últimas horas de sol, momento en que se debe realizar el control químico. No se han realizado estudios concluyentes en nuestro país a fin de determinar los niveles poblacionales de chinche de los cuernos que justifiquen su control para maíces en implantación. Para su control, las aplicaciones antes de la emergencia del cultivo prácticamente no tienen efectividad debido a que se encuentra refugiada sobre rastrojo o malezas. Se recomiendan tratamientos de semillas con aplicaciones en post-emergencia temprana que es cuando la plaga sale de su refugio y se expone a la acción de insecticida. Los insecticidas neonicotinoides utilizados en el tratamiento de semillas presentan buenos resultados para el control de *Dichelops furcatus* además de proporcionar un efecto positivo sobre el crecimiento inicial del maíz. Para aplicaciones en post-emergencia, varios trabajos indican que no hay diferencias cuando se utilizaron mezclas de neonicotinoides con piretroides en semilla, pero el uso repetido de productos que poseen el mismo modo de acción puede traer aparejada resistencia.



Figura 6.14. Adulto de *Dichelops furcatus*. Fuente: Wright (2007a)



Figura 6.15. Adulto de *Dichelops melacantus*. Fuente: Wright

Chicharrita

Organismo causal: Delphacodes kuscheli Fennah

Ciclo biológico, sintomatología y daños: es el único vector transmisor del reovirus causal del Mal de Río Cuarto (MRCV) (Remes Lenicov *et al.*, 1985, March *et al.*, 1997). Los adultos machos son negros y blancos y las hembras de color pajizo claro y pueden tener alas que superen el largo del abdomen o que no lo superen. Ponen sus huevos en las vainas de las hojas o en la epidermis del tallo, y a los 8 a 16 días desde la puesta nacen las ninfas, tiene tres a seis generaciones anuales (Virla & Remes Lenicov, 1991).

Se encuentra en cultivos de avena y trigo y en malezas circundantes (Tesón *et al.*, 1986). Cuando se alimenta de una planta enferma adquiere el virus y es efectiva toda su vida. Dado que el maíz es más susceptible al estado de coleoptile, es posible que se infecten entre el 65 y 70% de las plantas cuando el vector se alimenta en ese estadio (March *et al.*, 1997). Cuenta con enemigos naturales que parasitan sus huevos, ninfas y adultos.

Control: Entre las medidas de control de la enfermedad, se encuentra el control del vector, tendiendo a disminuir las poblaciones del mismo para disminuir el inóculo inicial. El conocimiento de la fluctuación poblacional de los vectores de enfermedades a lo largo del año tiene gran importancia, ya que permite estimar las épocas de mayor incidencia y el manejo integrado de las poblaciones insectiles a partir de la modificación en la fecha de siembra (Fernández *et al.*, 1987). Otras herramientas de manejo consistente en la utilización de cultivares tolerantes y el uso de insecticidas curasemillas.

Barrenador del tallo

Agente causal: Diatraea sacharalis Fabricius

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Este lepidóptero se considera la plaga más importante de la zona maicera del país, sobre todo en siembras de segunda donde su ataque suele ser devastador. También ataca los cultivos de sorgo granífero, caña de azúcar, trigo, arroz y algunas gramíneas forrajeras.

Las mariposas de hábito nocturno, color pajizo y 15 a 17 cm de largo, presentan manchas de líneas oscuras en las alas anteriores que simulan una "V" (Figura 6.16 A). Aparecen a partir de octubre y oviponen sobre las hojas en grupos de diez a cincuenta huevos cada uno, de color crema y con apariencia de escamas blancas, que luego se tornan amarillentos. En 6 a 8 días nacen las larvas de cuerpo blanco amarillento y cabeza oscura, que se alimentarán de hojas y luego de tallo. Durante el segundo estadio penetran por las zonas más débiles (generalmente axilas de las hojas), también a partir de este estadio pueden penetrar por las yemas del tallo o por la punta de la espiga y comienzan a alimentarse del tejido esponjoso dejando a su paso galerías que pueden abarcar uno o más entrenudos. Empupan dentro del tallo y salen de él como adultos. Para ello la larva anteriormente realizó un orificio en el tallo tapándolo con un opérculo de secreciones sedosas. Puede tener entre tres a cinco generaciones anuales, en la última barrenan la caña hacia abajo y se refugian en el cuello de los tallos, bajo la superficie del suelo, donde pasan el invierno como larva invernante (Figura 6.16 B).

Los daños son causados por las larvas y dependen del momento de ataque, siendo mayores en siembras tardías e incrementándose con el retraso de la cosecha. En ataques tempranos, cuando las plantas no sobrepasan los 80 cm de altura, pueden dañar el brote terminal, detener el crecimiento y matar la planta o dañar las hojas tiernas del cogollo. Si el ataque es posterior se producen daños de tipo fisiológico por disminución del flujo de agua (destrucción de tejidos) y de tipo mecánico por quebrado de plantas y caída de espigas. Los tallos, debilitados por las galerías realizadas en su interior se quiebran con facilidad cerca de la madurez de la planta. Existe una relación directa entre el número de perforaciones, el atraso en la cosecha y el porcentaje de plantas quebradas (Dagoberto *et al.*, 1980). Si las espigas fueron perforadas en su base se desprenden al ser alcanzadas por los rolos durante la cosecha, aumentando las pérdidas. Cuando el ataque es en la zona de los granos, no sólo se pierden éstos, sino que se incrementa la presencia de las podredumbres de la espiga.

Varias especies son hospedantes alternativos, entre ellas *Sorghum* spp. (sorgo), *Hordeum vulgare* (cebada), *Triticum aestivum* (trigo), *Saccharum officinarum* (caña de azúcar), *Bromus unioloides* (cebadilla criolla), *Digitaria sanguinalis* (pasto cuaresma), *Echinochloa cruz-gallis* (pasto arroz), *Paspalum dilatatum* (pasto miel), *Sorghum halepensis* (sorgo de Alepo), *Phalaris tuberosa* (falaris) (Parisi & Dagoberto, 1979).

Control: Para su control conviene verificar la existencia y cantidad de enemigos naturales presentes en el cultivo antes de efectuar un tratamiento químico. Entre los predadores se encuentran larvas de *Chrysopa* sp, adultos y ninfas de *Dorus* sp. Como parásito de huevos encontramos a la avispa *Trichogramma fasciatum* Perkins, presentando los mayores porcentajes de parasitismo desde mediados de febrero a marzo. Los huevos parasitados presentan coloración negra. Como parásito de larvas pueden mencionarse a otras avispa, *Agathis stigmaterus* Cresson, endo o ectoparásito que afecta el 10 a 20% de la población de larvas. Las larvas invernantes son parasitadas por el hongo *Beauveria bassiana* Balsamo-Crivelli, que en inviernos húmedos y sobre rastrojo afectan 80 a 100% de las larvas que adquieren aspecto blanco algodonoso por el micelio del patógeno. Sobre las plantas hospedantes del barrenador se han determinado distintos predadores, entre ellos “vaquitas” (*Eriopsis* sp., *Cycloneda* sp entre otros) que se alimentan de huevos y larvas.

La fecha de siembra es otra herramienta importante para reducir daños, realizando siembras tempranas el pico poblacional de la plaga se encuentra con el cultivo en estadios más avanzados, lo que lo hace menos susceptible al ataque.

La cosecha anticipada en un lote atacado reduce el porcentaje de plantas quebradas, se recomienda realizarla si se registran dos o más entrenudos perforados por planta o más del 5% de espigas con orificios en la base. El monitoreo de daños se debe comenzar cuando el grano alcanza 25 a 30% de humedad.

También se recomienda evitar la siembra de maíz sobre maíz o sorgo. La técnica más recomendable es el uso de los maíces denominados Bt, con resistencia genética que realiza un buen control de la plaga, aunque el hecho de no realizar refugios ha generado resistencia en algunos casos.

Tecnología Bt: A principios de siglo pasado se descubrió que una bacteria del suelo, el *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) tenía propiedades insecticidas. A partir de la década del treinta se comenzó a utilizar esa bacteria como insecticida a fin de controlar a ciertas larvas que afectaban los cultivos. El gen Bt ha sido incorporado en los híbridos de maíz y genera una protoxina que al ser ingerida por el insecto se transforma en toxina, generándole la muerte. Los maíces Bt que se han obtenido no son todos iguales y no proveen los mismos niveles de protección contra *Diatraea saccharalis*. Esto depende de la técnica que se haya utilizado para su generación y del gen utilizado. Por ejemplo hay casos en que la toxina se produce en los tejidos verdes y el polen, pero luego de la floración su síntesis disminuye, en tanto que en otros la toxina se sintetiza a lo largo de todo el ciclo y en todos los tejidos, expresándose algunos en tallo y otros en tallo y espiga. En la actualidad hay eventos que tienen resistencia a *Diatraea saccharalis* y ejercen también un buen control de *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea* Boddie y *Diabrotica speciosa*.

Para el manejo correcto de esta tecnología, es aconsejable la siembra de refugios (otros maíces que no posean el gen Bt conjuntamente con el Bt) de 10 a 20% de la superficie del lote, para evitar la aparición de resistencia en el insecto, sin embargo se está generando resistencia a la plaga por la falta de implementación de los mismos. Los refugios tienen por finalidad que cuando se generan larvas que pueden neutralizar el tóxico y generar descendencia dentro del lote con Bt, al cruzarse con las provenientes del refugio que son susceptibles darán como resultado una descendencia susceptible. Hay también piretrinas que ejercen control químico, esta técnica exige monitoreo y es más trabajosa, pero resulta una alternativa

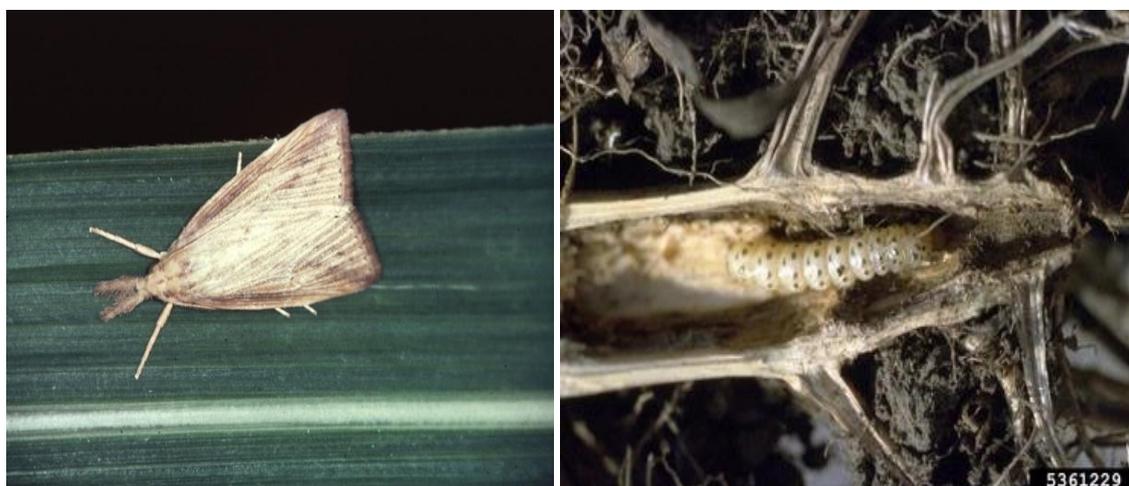


Figura 6.16. **A.** Adulto de *Diatraea saccharalis* **B.** Larva de *Diatraea ssp.* en el cuello del tallo.
Fuente: William White(2003) y Peairs (2008a) respectivamente

Barrenador menor del maíz

Agente causal: Elasmopalpus lignosellus Zeller

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Es una oruga de menos de 1,8 cm, delgada, de color marrón con bandas transversales claras (Figura 6.17 A), los adultos con alas anteriores claras, en tanto que en los machos son negras. Colocan sus huevos en la base de plantas jóvenes, que hacen inicialmente galerías externas y luego penetran en el tallo. Se lo

encuentra también causando daño en cultivos de sorgo, trigo, arroz, soja, caña de azúcar, maní, poroto, haba, garbanzo y nabo. La etapa larval se completa en unos 15 días a 28°C. **Daños:** En los primeros estadios la larva come hojas y raíces, luego barrena la planta cerca de la superficie del suelo y forma una galería hacia la parte apical de hasta 5 cm de largo (Figura 6.17 B). Desde el orificio de entrada hacia el suelo produce un tubo de hilos sedosos, restos vegetales, tierra y partículas de arena en forma de colgajo, dentro del cual empujan. Las larvas se transforman en pupa en el túnel de seda para emerger como adulto en una a tres semanas. Los adultos aparecen entre septiembre y mayo.

Por el daño que produce la plaga las hojas centrales se marchitan y al tirar de ellas se desprenden. Las hojas de la periferia presentan orificios de igual tamaño, de forma redondeada, dispuestos en línea recta y transversal a la hoja. Las plantas pequeñas detienen su crecimiento o se marchitan y pueden morir si el daño es intenso. En las plantas desarrolladas, en cambio, la plaga barrena el tallo con dificultad debido a una epidermis más resistente y en éste caso no forma galerías internas, pero sí roe externamente el tallo en forma de corona cerca del suelo. A consecuencia de esto último, se incrementa la susceptibilidad al vuelco.

Control: En siembras tardías con condiciones de sequía se producen los mayores daños (Villata & Ayassa, 1994). Los suelos arenosos favorecen la construcción del tubo de seda subterráneo, altas temperaturas y siembras tardías. Las lluvias tienen un impacto negativo ya que en suelo compactado no pueden construir el túnel de seda, en la región central la plaga podría completar tres a cuatro generaciones por año.

El control cultural se implementa mediante siembras tempranas, para que la planta tenga un mayor desarrollo y tolerancia a los daños en el momento del ataque. Se recomienda mantener el lote libre de malezas hospederas en barbecho, ya que las malezas latifoliadas y gramíneas como el sorgo de Alepo son hospederas iniciales al comienzo de primavera. La siembra directa disminuye el ataque por la mayor humedad y menor temperatura del suelo (Aragón, 2002a).

Cuando se prevean pérdidas mayores al 10 a 15% de las plantas (nivel de decisión de control) se deberá controlar químicamente. Estas predicciones se basan en datos climáticos como sequía y temperaturas, nivel de la población de adultos con trampas de luz, presencia de la plaga en cultivos sembrados. En forma preventiva pueden utilizarse cebos granulados aplicados en el surco de siembra o terápicos de semilla preventivos sistémicos.

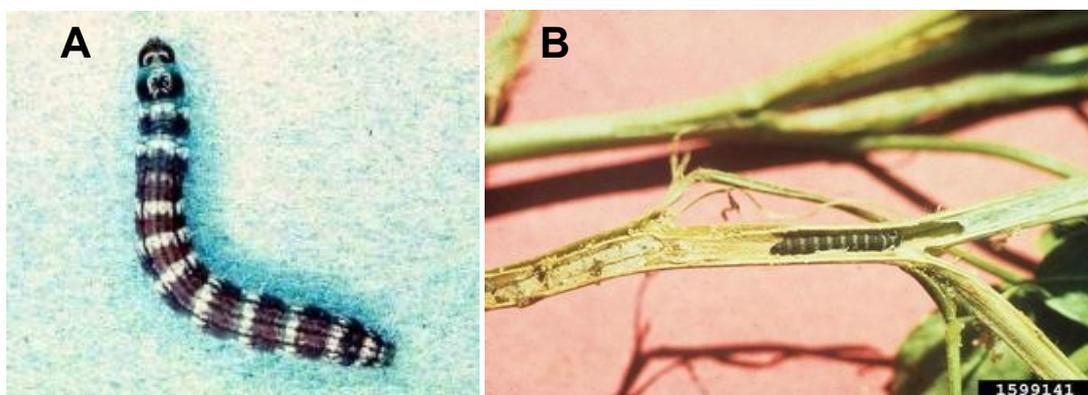


Figura 6.17. **A.** Larva de *Elasmopalpus lignosellus*. **B.** Daño causado por larvas de *Elasmopalpus lignosellus* en poroto. Fuente: Sprenkel (2006) y French (2011) respectivamente

Pulgón del maíz

Agente causal: Rhopalosiphum maidis Fitch

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Se lo encuentra atacando también otros cultivos como sorgo, avena, cebada, trigo, mijo y caña de azúcar. Se lo considera vector de varios virus, puede transmitir el virus del mosaico y enanismo del maíz (MDMV) y el virus del punteado foliar del maíz (MCMV). Es de color verde azulado con antenas y patas negras, puede ser áptero o alado, en algunos años puede causar daños importantes, siendo favorecido por condiciones de sequía (Figura 6.18 A).

Succionan la savia de tallos y cogollos que forman las hojas, éstas cuando son jóvenes se encrespan y las plantitas amarillean y retardan su crecimiento. Cuando hay alta población de estos pulgones en la etapa de floración pueden abortar las panojas y afectando la polinización (Figura 6.18 B). Por lo general el daño no es generalizado sino que se presenta en forma de manchones.

Control: Las poblaciones del pulgón del cogollo son generalmente controladas por sus enemigos naturales entre los que se destacan algunos coccinélidos y algunos sírfidos. Por ello, antes de la aplicación de insecticidas, es conveniente observar el grado de parasitismo y presencia de predadores en la población.

Al no poseer saliva tóxica, sus umbrales de control son altos, como nivel crítico más de cincuenta pulgones en más del 50% de las plantas. Si se alcanza el nivel crítico y el grado de parasitismo es alto, entonces no será conveniente aplicar insecticidas; si es bajo o nulo será necesario efectuar un tratamiento químico procurando dirigir la aplicación de insecticida al interior de los cogollos. Se recomiendan insecticidas sistémicos cuando se quiere llegar a los pulgones que se encuentran protegidos en las hojas enrolladas.



Figura 6.18. **A.** Adultos y ninfas de *Rhopalosiphum maidis*. **B.** Infestación de *Rhopalosiphum maidis* en panoja de maíz.
Fuente: Shepard, Carner, & Ooi (2008) y Kansas Department of Agriculture Archive (2014) respectivamente

Vaquita de San Antonio

Agente causal: Diabrotica speciosa Germar

Ciclo biológico, sintomatología y daños: *Diabrotica speciosa* es un coleóptero polífago, cuya larvas dañan severamente las raíces de maíz y otros cultivos (Sarasola *et al.*, 1980; Gassen, 1984). El adulto es una vaquita verde con seis manchas amarillas en el dorso y la cabeza oscura (Figura

6.19 A). La larva, verdadera responsable del daño en maíz, es blanca con ambos extremos oscuros, semejando dos cabezas. Los huevos son de color claro y son depositados bajo la tierra. Los adultos se alimentan de numerosos cultivos como maíz, soja, girasol, alfalfa y hortalizas como zapallo, zapallito y calabaza, ornamentales y algunas malezas (Link & Costa, 1978). Se alimentan principalmente de polen y hojas, atacando también los frutos de las hortalizas lo cual disminuye su valor. Las larvas son subterráneas y se alimentan de raíces.

El ciclo biológico de *D.speciosa* dura aproximadamente 35 días dependiendo de la temperatura (Cabrera Walsh, 2001, 2003). Comienza en la primavera cuando los adultos terminan la hibernación bajo el rastrojo y pasturas de invierno. Una vez que el maíz está establecido, los adultos oviponen cerca de las raíces, donde luego las larvas se desarrollan y dan origen a la siguiente generación. Este ciclo sobre el maíz se repite hasta avanzado el cultivo, cuando los adultos buscan hospederos más adecuados para la sobrevivencia de las larvas.

Los estados larvales son los que causan mayor daño perforando raíces gruesas, limitando el crecimiento y sostén de la planta y también barrenan la base del tallo en plántula, produciendo el marchitamiento en las hojas centrales (Figura 6.19 B). Los adultos atacan las hojas pero producen el mayor daño cuando se alimentan de las flores femeninas, cortando estigmas y produciendo el “corrimiento” de los granos por falta de fecundación.

Al causar daños en las raíces, reducen la capacidad de absorción de agua y nutrientes y limitan la capacidad de anclaje de las plantas, lo cual genera una patología llamada “cuello de ganso”. Asimismo, el daño en las raíces permite el ingreso de patógenos, lo cual incrementa el perjuicio en el rendimiento final de la planta (Mattioli, 2010). El daño más común se da en forma de surcos y galerías, llegando las raíces a ser cortadas en ciertas ocasiones. Los umbrales que se utilizan se desarrollaron para otra especie de *Diabrotica* en Estados Unidos. Se utiliza la escala de IOWA (Oleson *et al.*, 2005) la cual cuantifica el número de raíces cortadas por nudo principal y luego suma el daño de cada nudo. La escala va de 0 a 3, siendo 0 ausencia de daño y 3 todos los nudos principales destruidos. Algunos autores asignan 0.25 (1/4 de un nudo dañado). En los adultos el control químico se realiza cuando hay cinco ó más adultos por plantas desde el estado de aparición de estigmas (Mattioli, 2010).

Control: Para el momento en que se dan los mayores ataques no hay curasemillas que brinden protección suficiente contra esta plaga, siendo la biotecnología la herramienta de control más efectiva ya que existen maíces Bt que hacen un buen control de la plaga junto con otros insectos.

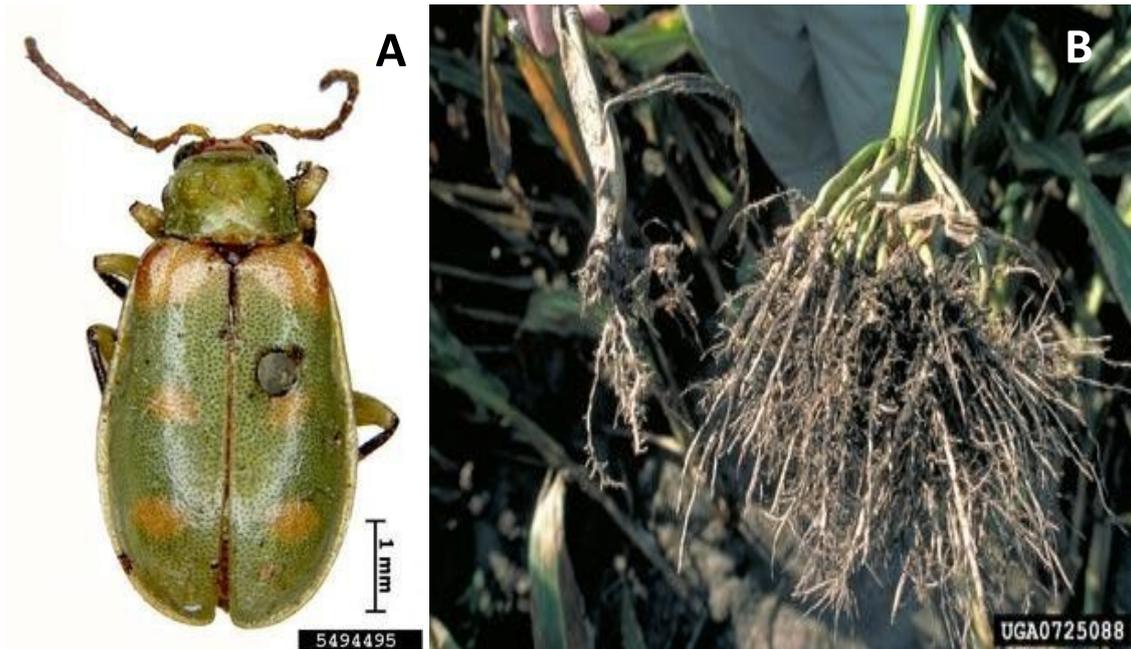


Figura 6.19. **A.** Adulto de *Diabrotica speciosa*. **B.** Sistema radicular dañado por larvas de *Diabrotica speciosa* (izquierda) en comparación a planta con desarrollo normal (derecha). Fuente: Derunkov (2013) y Edwards (2008) respectivamente

Gusanos cogolleros

Agente causal: *Spodoptera frugiperda* Smith, también conocida como “isoca militar tardía”.

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Tiene mayor importancia en siembras tardías, en las zonas templadas y en los maíces del norte de país. También se la encuentra atacando los cultivos de sorgo, soja, alfalfa, algunas plantas hortícolas y malezas gramíneas como sorgo Alepo.

El adulto son mariposas de 17-18 mm, de hábito nocturno, con el primer par de alas gris oscuro con puntuaciones blancas y oscuras y bandas transversales onduladas (Figura 6.20 A). Las hembras oviponen más de mil huevos, en cuatro o cinco veces generalmente de noche en el envés de las hojas, de los que nacen las larvas blanco verdosas con una línea dorsal más oscura (Rizzo & La Rossa, 1993) (figura 6.20 B). Presenta una “Y” invertida en la cabeza, tiene seis estadios larvales y luego empupa en una cámara bajo tierra a pocos centímetros de profundidad.

La larva es activa tanto de día como de noche, alimentándose de tejidos tiernos, hojas y brotes. Se la denomina militar tardía porque ataca en frentes pero más tarde que la militar verdadera (Vincini & Sisti, 1984). Pueden atacar al maíz en cualquier momento, actuando como cortadoras, desfoliadoras o cogolleras, según el estado de la planta (Willink *et al.*, 1993). Alrededor de V6, las larvas se alimentan del primordio apical, pudiendo producir la muerte de la planta. Los daños de esta plaga se producen más frecuentemente a partir de noviembre- diciembre en el NOA y NEA y a partir de enero-febrero en la zona maicera central, presentando dos a tres generaciones al año en la región pampeana. Hiberna al estado de pupa en el suelo. También pueden causar daños en la panoja, con importancia relativa y también en las espigas reduciendo el número de granos (Figura 6.20 C).

Control: Es posible minimizar el impacto de esta plaga realizando un control cultural basado en la implantación temprana del cultivo sobre el rastrojo limpio, libre de malezas, ya que los ataques son tardíos. Mediante trampas de luz se establece un sistema de alarma. El control químico se realiza cuando se alcanza el nivel de decisión de control que es de alrededor de 20% de las plantas atacadas. Tienen enemigos naturales y son afectadas por el virus de la poliedrosis nuclear. Hay tratamientos de semilla que protegen al cultivo una a dos semanas luego de la emergencia y también aplicaciones terrestres y aéreas con piretrinas y otros principios activos. Hay también maíces con resistencia a esta plaga junto con otras.



Figura 6.20. A. Adulto de *Spodoptera frugiperda*. B. Larva de *Spodoptera frugiperda*. C. Larva de *Spodoptera frugiperda* causando daños en espigas de maíz. Fuente: University of Georgia Archive (2006), Buss- University of Florida (2011) y Peairs (2008b) respectivamente.

B. Ocasionan daños en inflorescencias y granos

Isoca de la espiga

Agente causal: *Helicoverpa zea* Boddie

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Las infestaciones en la región pampeana provienen al igual que en *Spodoptera frugiperda* de los adultos que migran desde el norte. Hay un aumento gradual de las poblaciones a partir de fines de diciembre, por lo que a medida que la siembra se atrasa el cultivo sufre mayor ataque (Aragón, 2002b).

Al finalizar la primavera, las mariposas de este lepidóptero depositan los huevos especialmente en los estigmas (Fig. 6.21 A). Las larvas se alimentan de ellos y así entran por la punta de la espiga. Estas larvas son de colores variables, generalmente de color verdoso a amarillento, con una franja blanca zigzagueante y la cápsula cefálica de color anaranjado (Fig. 6.21 B). Cuando entra más de una larva se produce canibalismo, sobreviviendo una sola larva por espiga. Esta permanece en el interior de la mazorca alimentándose y destruyendo los granos en estado lechoso (Figura 6.21 C). Al completar su desarrollo, perfora las chalas para salir, dejando un orificio que permite la entrada de otros insectos y de patógenos fúngicos. Cumplido su crecimiento, empupan en el suelo en pequeñas camaritas y luego de 19 días emerge el adulto. Normalmente tiene tres generaciones al año, pudiendo ser cuatro o cinco en la zona Norte (Rivera *et al.*, 1988).

Las generaciones tardías son las más peligrosas y los daños más importantes ocurren en el maíz producido para consumo fresco, en maíces pisingallo y en los choclos para enlatado.

Es común observar el “corrimiento” de los granos ya que las larvas consumen los estigmas verdes evitando la correcta polinización de los óvulos.

Control: Se recomienda realizar siembras tempranas. En la actualidad existen maíces Bt que también ejercen control sobre esta plaga. El control químico es dificultoso debido a los hábitos de alimentación de la isoca, ya que cuando la misma ha penetrado en la espiga, la protección física de las chalas constituye un serio obstáculo para la llegada o contacto de la aspersión química con la plaga. Además los adultos colocan sus huevos durante un período prolongado. Para la toma de decisión es de suma importancia revisar el lote en el momento de aparición de estigmas (R1) y mientras éstos estén verdes, pues es el momento en que la hembra adulta realiza las oviposiciones. Hay acción predatora de vaquitas y un díptero (Rivera *et al.*, 1988). Se recomienda usar el control a los dos o tres días de la detección de huevos sobre los estigmas en al menos una de cada tres plantas del cultivo con piretrinas o insecticidas de otros grupos químicos.



Figura 6.21. **A.** Adulto de *Helicoverpa zea*. **B.** Larva de *Helicoverpa zea*. **C.** Daño causado por *Helicoverpa zea*. Fuente: Clemson University (2002a), Olsen (2012) y Day (2014) respectivamente.

Chinche verde

Agente causal: *Nezara viridula* Linneo

Ciclo biológico, sintomatología y daño: Las poblaciones de las chiches en maíz se incrementaron con la expansión del cultivo de soja en el país, ya que éste es uno de los hospederos preferenciales de esta plaga. También se la encuentra en cultivos de sorgo, arroz, trigo, girasol, alfalfa, poroto, haba, tréboles, arveja, algodón, tabaco y hortalizas en general. Los mayores daños en maíz se producen en siembras tardías.

La hembra coloca en grupos de sesenta a cien huevos ordenados en forma de panel de abejas en el envés de las hojas. Los huevos son de color cremoso y se tornan rojizos, cuando están por eclosionar, los parasitados por micro himenópteros tornan a una coloración negruzca. Las ninfas en sus primeros estadios presentan hábitos gregarios y a partir del tercer estadio se dispersan y empiezan a causar daño, volviéndose de color oscuro brillante con cuatro manchas amarillo-anaranjado en el abdomen y máculas blancas a los lados (Rizzo, 1968). La duración de los cinco estadios ninfales oscila entre 25 y 60 días (Figura

6.22 A). El estado adulto, en verano vive un mes, y el de la generación hibernante de cuatro a cinco meses (Figura 6.22 B). Presenta tres a cuatro generaciones por año.

Los daños son producidos por el adulto y por las ninfas de cuarto a quinto estadio. Ataca los granos superiores de la espiga que se encuentren en estado lechoso o pastoso, que se presentan a madurez manchados, deformados o bien completamente destruidos. El endosperma adquiere un aspecto almidonoso en lugar de vítreo. Los mayores daños se encuentran en las borduras del cultivo. En los cultivos atacados se observa una disminución del peso de mil granos, del contenido de aceites y de almidón. El poder germinativo, la energía germinativa y el vigor de las plántulas se ven seriamente afectados.

Control: Realizar siembras tempranas. Para el control químico debe considerarse un nivel crítico de cinco chinches por espiga en grano lechoso y diez en grano pastoso (Dagoberto *et al.*, 1980). Tiene enemigos naturales que parasitan huevos, ninfas y adultos.

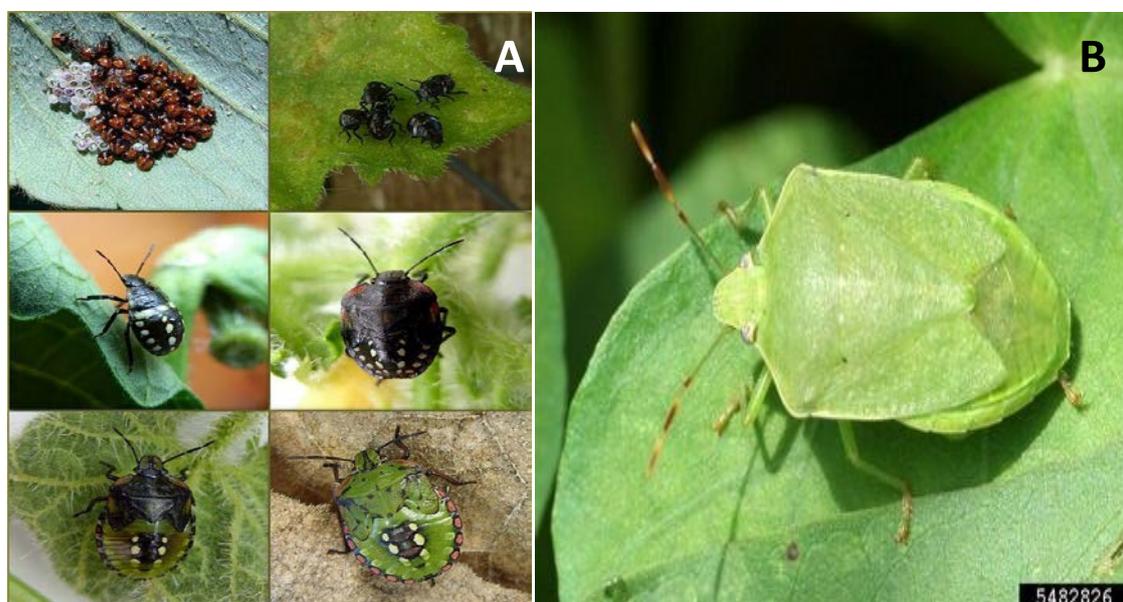


Figura 6.22. A. Estadios ninfales de *Nezara viridula*. B. Adulto de *Nezara viridula*. Fuente: Jovo26 (2010) y Dell (2010) respectivamente

Palomita de los cereales

Agente causal: *Sitotroga cerealella* Olivier

Ciclo biológico, sintomatología y daños: Ataca normalmente granos almacenados, aunque en determinadas condiciones ambientales puede hacerlo en cultivo previo a la cosecha. La pequeña mariposita de lepidóptero deposita de uno a tres huevos sobre granos, adheridos por una sustancia mucilaginosa (Figura 6.24 A). La larva recién nacida comienza a horadar el grano hasta que entra y se alimenta del mismo durante todo su crecimiento, produciendo el grano picado. Antes de empupar deja lista la salida para el adulto, haciendo una perforación que queda protegida por la última capa de pericarpio (Figura 6.23 B). Tiene tres o cuatro generaciones por año y puede pasar el invierno como pupa o larva dentro de los granos o como adulto en los depósitos (Figura 6.23 C).

Control: en silos con insecticidas sin poder residual.

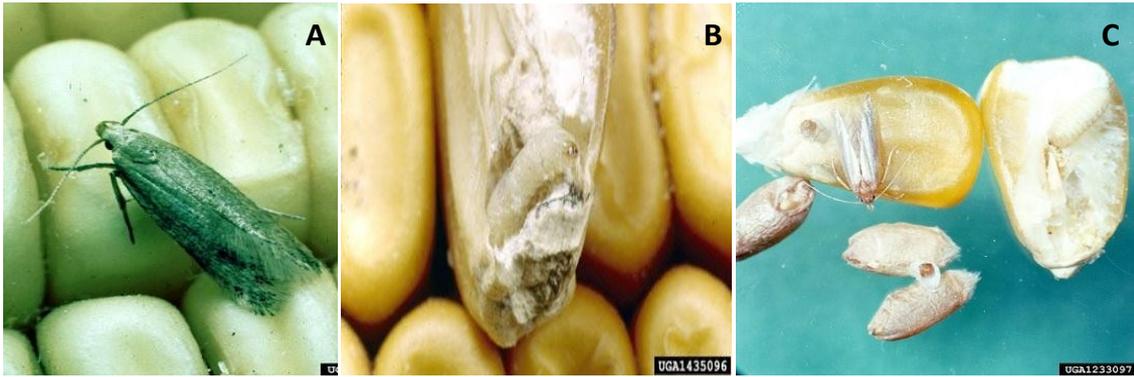


Figura 6.23. **A.** Adulto de *Sitotroga cerealella*. **B.** Daños de larvas de *Sitotroga cerealella* en granos de maíz. **C.** Adulto, pupa y larva de *Sitotroga cerealella* en maíz y trigo. Fuente: Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series (2003a), Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series (2002b) y Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series (2003b) respectivamente.

Gorgojos

Agente causal: *Sitophilus oryzae* Linneo y *Sitophilus granarius* Linneo

Ciclo biológico, sintomatología y daños: *S. oryzae* (Figuras 6.24 A y 6.24 B) puede encontrarse atacando en la planta, mientras que *S. granarius*, por falta de alas funcionales, sólo se encuentra en silos y depósitos siendo su difusión más lenta (Fig. 6.25 A y 6.25 B). El número de generaciones anuales varía entre cinco para la primera y nueve para la segunda. Las hembras perforan el grano con las mandíbulas y allí depositan de uno a tres huevos. La larva nace y comienza a alimentarse del grano, cumpliendo dentro de él todo su desarrollo, incluyendo el estado de pupa. Después de 35-40 días del desove sale el adulto. La forma de resistencia invernal es el adulto.

Además del daño que causan directamente, la presencia numerosa de gorgojos provoca importantes elevaciones de temperaturas en los silos y conspiran contra una adecuada conservación de los granos.

Control: en silos con insecticidas sin poder residual.



Figura 6.24. **A.** Adulto de *Sitophilus oryzae*. **B.** Daños de *Sitophilus oryzae* en maíz. Fuente: Wright (2007c) y Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series (2003c) respectivamente

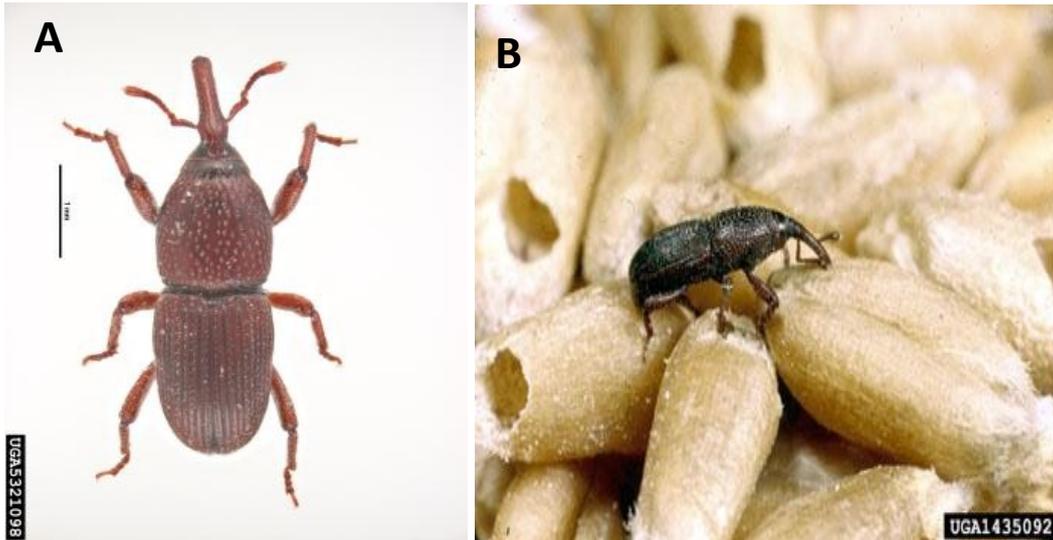


Figura 6.25. **A.** Adulto de *Sitophilus granarius*. **B.** Daños de *Sitophilus granarius* en granos almacenados. Fuente: Pest and Diseases Image Library (2007b) y Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series (2002c) respectivamente.

Bibliografía

- Alvarado L. (1979). *Insectos de suelo: Ciclo de vida de Diloboderus abderus* (“bicho torito o candado”). Su relación con el manejo de los cultivos. Informe de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino 17:2 pp.
- Alvarado L., Senigagliesi C. & Marta L. (1980). *Composición poblacional de larvas de Scarabaeidae tras sucesivos cultivos de maíz*. Informe de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. pp. 156-167.
- Alvarez A. 2008. *Diloboderus abderus* (male). Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diloboderus_abderus_\(male\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diloboderus_abderus_(male).JPG). Último acceso: Junio de 2015.
- Andrade F., Cirilo A.G. Uhart S. & Otegui M. (1996). En: *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial Barrosa-EEA Balcarce, Cerbas, INTA-FCA, UNMP (Eds). Dekalb Press. Buenos Aires. 292 pp.
- Aragón J.R. (1985). *Bioecología, sistemas de alarma y control de orugas cortadoras en cultivo de girasol, maíz y soja*. Informe de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Marcos Juárez. Producción vegetal 5:9 pp.
- Aragón J.R., Molinari A. & Lorenzatti de Diez S. (1997). Manejo Integrado de Plagas. En: *El cultivo de la soja en la Argentina*. L.M. Giorda & H.E. Baigorri, (Eds.). Editorial Albatros. pp. 247-288.
- Aragón J.R. (1998). *Manejo integrado de plagas relacionadas a la siembra directa*. En: Siembra directa. J.L. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo & R. Gil. Editorial Hemisferio Sur Argentina. pp. 168-175.

- Aragón J.R. (2002a). *Guía de reconocimiento y manejo de plagas tempranas relacionadas a la siembra directa*. Agroediciones INTA. 60 pp.
- Aragón J.R. (2002b). *Plagas de maíz y su control integrado*. En: Guía Dekalb del cultivo de Maíz. E. Satorre et al. (Eds.). pp. 117-134.
- Birch A.N., Griffiths D.W., Hopkins R.J., Smith W.H. & McKinlay R.G. (1992). *Glucosinolate responses of swede, kale, forage and oilseed rape to root damage by turnip root fly (*Delia floralis*) larvae*. Journal of the Science of Food and Agriculture 60:1-9.
- Boote K.J., Jones J.W., Mishoe J.W. & Berger R.D. (1983). *Coupling pests to crop growth simulators to predict yield reductions*. Phytopathology 73:1591-1587.
- Brown L. (1990). *Click beetles*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1432025>. Último acceso: Junio de 2015.
- Buss L. (2011). *Fall armyworm*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5431825>. Último acceso: Junio de 2015.
- Cabrera Walsh G. (2001). *Laboratory rearing and vital statistics of *Diabrotica speciosa* (Germar) and *Diabrotica viridula* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae), two species of South American pest rootworms*. Revista Sociedad Entomológica Argentina 60:230-248.
- Cabrera Walsh G. (2003). *Host range and reproductive traits of *Diabrotica speciosa* (Germar) and *Diabrotica viridula* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae), two species of South American pest rootworms, with notes on other species of Diabroticina*. Environmental Entomology 32: 276-285.
- Canale A., Ferreira L.P. (2013). Manejo de *Dichelops furcatus*: Chinche de los Cuernos. <http://inta.gob.ar/documentos/manejo-de-dichelops-furcatus-chinche-de-los-cuernos/>.
 Última visita: 25 de junio de 2015.
- Cap A.S., Rizzo H. & Ríos M. (1995). Contribución al conocimiento de *Porosagrotis gypaetina* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae). Revista de la Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. 15:15-22.
- Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series. (2002a). Corn earworm. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1435150>. Último acceso: Junio de 2015.
- Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series. (2002b). Angoumois grain moth. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1435096>. Último acceso: Junio de 2015.
- Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series, (2002c). Granary weevil. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1435092>. Último acceso: Junio de 2015.
- Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series. (2003a). Angoumois grain moth. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1236011>. Último acceso: Junio de 2015

- Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series. (2003b). Angoumois grain moth. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1233097>. Último acceso: Junio de 2015.
- Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series. (2003c). Rice weevil. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1233087>. Último acceso: Junio de 2015
- Cranshaw W. (2007). Seedcorn maggot. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5209045>. Último acceso: Junio de 2015.
- Crawley M.J. (1983). En: Herbivory: *The Dynamics of Animal-Plant Interactions*. University of California Press, Berkeley. 437 pp.
- Dagoberto E., Parisi R. & Iannone N. (1980). Dinámica poblacional de *Diatraea saccharalis* (F) (Lepidoptera: *Pyralidae*) y de sus enemigos naturales durante las campañas agrícolas 1978/1979 y 1979/1980. En: Actas del II Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, Buenos Aires. pp. 185-193.
- Damilano A. & Brugnoli L. (1980). Técnicas de producción. En: *El cultivo del maíz*. Colección principales cultivos de la Argentina. INTA. 163pp.
- Day E.R. (2014). Corn earworm. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5520223> . Último acceso: Junio de 2015.
- Dell J.N. (2012). *Southern green stink bug*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5482826>. Último acceso: Junio de 2015.
- Derunkov A. (2013). *Diabrotica beetle*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5494495>. Último acceso: Junio de 2015.
- Dreiling M. (2012). *Black cutworm*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5461221>. Último acceso: Junio de 2015.
- Edwards R.C. (2008). *Western corn rootworm*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=0725088> . Último acceso: Junio de 2015
- Fernández S., Salas J., Alvarez C. & Parra A. (1987). *Fluctuación poblacional de los principales insectos plaga del tomate en la depresión de Quibor, Estado Lara*. Venezuela. *Agronomía Tropical* 37: 31-34
- French J.C. (2011). *Lesser cornstalk borer*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1599141>. Último acceso: Junio de 2015.
- Gassen D.N. (1984). *Insetos asociados à cultura do trigo*. Passo Fundo: Embrapa Trigo. Circular técnica 3:39 pp.

- Gassen D.N. (1992). *Insetos asociados ao plantío directo*. 1^{er} Congreso Interamericano de Siembra Directa, Córdoba, Argentina. pp. 253-276.
- Gil A., Vilariño M., Lenardis A. & Guglielmini A. 2012. Bases para el control y manejo de plagas. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. E.H. Satorre, R.L. Benech Arnold, G.A. Slafer, E.B. De la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui & R. Savin. (Eds.). Editorial Facultad de Agronomía (UBA). pp. 615-649.
- Goldson S.L. (2004). *Argentine stem weevil*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=0660096>. Último acceso: Junio de 2015.
- Hamera H. (1960). *Peridroma saucia* male ventral. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peridroma_saucia_male_ventral.jpg. Último acceso: Junio de 2015.
- Hantsbarger W.M. (2008). Black cutworm. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5361045>. Último acceso: Junio de 2015.
- Harborne J.B. 1991. The chemical basis of plant defense. Plant Defenses Against Mammalian Herbivores. R.T. Palo & C.T. Robbins (Eds.). pp. 45-59.
- Hyché L.L. (2002). *Peridroma saucia*. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peridroma_saucia.jpg . Último acceso: Junio de 2015.
- Iannone N. (2004). *El gorgojo de la corona del maíz*. El Santafesino.
<http://www.elsantafesino.com/economia/2004/11/01/3003>. Última visita: 5 de junio de 2015.
- Ingrouille M. (1992). Diversity and evolution of land plants. Chapman & Hall, London. 340 pp.
- Jones F.G., Dunning R.A. & Humphries K.P. 1955. The effects of defoliation and loss of stand upon yield of sugar beet. *Annals of Applied Biology* 43:63-70.
- Jovo26. (2010). *Nezara viridula*: metamorphosis of instars. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/Nezara_viridula#/media/File:Nezara_viridula_instars_Budapest_2010.jpg . Último acceso: Junio de 2015.
- Kansas Department of Agriculture Archive. (2014). *Corn leaf aphid*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5512067>. Último acceso: Junio de 2015.
- Landis D. & Marino P. (1999). *Landscape structure and extra-field processes: impact on management of pests and beneficials*. En: Handbook of Pest Management. J. Ruberson (Ed.). pp. 79-104.
- Link R.S. & Costa E.C. (1978). *Daños causados por crisomelideos em soja*. Revista do Centro de Ciências Rurais 8:245-250.
- March G.J., Ornaghi J.A., Beviacqua J.E. & Lenardon S.L. (1997). *Manual Técnico del Mal de Río Cuarto*. Editorial Morgan. Buenos Aires, Argentina. 41 pp.
- Mattioli F. (2010). *Diabrotica speciosa* en el cultivo de maíz. Dekalb
<http://www.elganadosa.com/site/articles/boletindiabrotica.pdf>. Último acceso: de junio de 2015.

- Mauricio R., Rausher M.D. & Burdick D.S. (1997). *Variation in the defense strategies of plants: are resistance and tolerance mutually exclusive?* Ecology 78:1301-1311.
- Myers J.H. & Bazely D.R. (1991). *Thorns, spines, prickles and hairs: are they stimulated by herbivory and do they deter herbivores?* En: Phytochemical induction by herbivores. Tallamy, W. & Raupp, M.J., (Eds). pp. 325-344.
- Nobile A. (2008a). *Acromyrmex lundii* casent0173797 profile1.jpg. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acromyrmex_lundii_casent0173797_profile_1.jpg Último acceso: Junio de 2015.
- Nobile A. (2008b). *Acromyrmex striatus* casent0104326 profile 1.jpg. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acromyrmex_striatus_casent0104326_profile_1.jpg Último acceso: Junio de 2015.
- Oosterheld M. & McNaughton S.J. (1991). *Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing.* Oecologia 85:305-313.
- Oleson J.D., Park Y., Nowatzky T.M. & Tollefson J.J. (2005). *Node-Injury scale to evaluate root injury by Corn Rootworms* (Coleoptera: Chrysomelidae) Journal Economic Entomology 98:1-8.
- Olsen C. (2012). *Corn earworm*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5485913>. Último acceso: Junio de 2015.
- Panda N. & Khush G.S. (1995). *Host plant resistance to insects*. International Rice Research Institute, Philippines. 431 pp.
- Parisi R. & Dagoberto E. (1979). Observaciones sobre el "Barrenador del Tallo" *Diatraea saccharalis* (F) en la campaña agrícola 1978/79. Carpeta de producción vegetal, maíz. Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. 15: pp.4.
- Peairs F. (2008a). *Southwestern corn borer*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5361229> . Último acceso: Junio de 2015.
- Peairs F. (2008b). *Fall armyworm*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5360472>. Último acceso: Junio de 2015.
- Pest and Diseases Image Library. (2007a). *Argentine stem weevil*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5319011>. Último acceso: Junio de 2015.
- Pest and Diseases Image Library. (2007b). *Granary weevil*. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5321098>. Último acceso: Junio de 2015.
- Quintana F. (1964). *Gusanos o moscas de las semillas o Gusanos de la papa* (*Hylemya sancti-jacobi* (Bigote) e *Hylemya cilicrura* (Rondani)). (Diptera: Anthomyiidae). Publicación para Divulgación de extensión. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce 2:6 pp.

- Rasbak J. (2009). *Agrotis ipsilon*, aardrups.jpg. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Agrotis_ipsilon,_aardrups.jpg .Último acceso:
Junio de 2015.
- Remes Lenicov A.M., Tesón A., Dagoberto E., & Huguet N. (1985). *Hallazgo de uno de los vectores del Mal de Río Cuarto en maíz*. Gaceta Agronómica 25:251-258.
- Rivera J.C., Cherubini C., Espul J. & Riquelme H.(1988). *Avances sobre los estudios de la biología de Helicoverpa zea Boddie en maíces dulces (Zea mays var. rugosa)*. En: XI Congreso Argentino de Horticultura ASAO. pp. 25
- Rizzo H.F. (1968). *Aspectos morfológicos y biológicos de Nezara viridula (L.) (Hemiptera: Pentatomidae)*. Agronomía Tropical 18:249-274.
- Rizzo H.F. & La Rossa F. (1993). *Aspectos morfológicos y biológicos de la oruga militar tardía (Spodoptera frugiperda Smith) (Lepidoptera.: Noctuidae)*. Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires 13:193-199.
- Rosenthal J.P. & Kotanen P. (1994). *Terrestrial plant tolerance to herbivory*. Trends in Ecology and Evolution 9:145-148.
- Sadras V.O. (1995). *Compensatory growth in cotton after loss of reproductive organs*. Field Crops Research 40:1-18.
- Sadras V.O. & Fitt G.P. (1997). *Resistance to insect herbivory of cotton lines: quantification of recovery capacity after damage*. Field Crops Research 52:129-136.
- Sarasola A.A., Rocca de Sarasola M.A., Montero J.C. & Ferrando J.C. (1980). *Influencia de sistemas de labranza sobre la predisposición del maíz y girasol a los daños causados por Diabrotica speciosa: falta de efectos en girasol*. Fitopatología 15:28-31.
- Shepard M., Carner G., & Ooi P.A.C. (2008). *Corn leaf aphid*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5368258>. Último acceso: Junio de 2015.
- Ska J. (2013). *Bothynus complanus* m2. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bothynus_complanus_m2.jpg?uselang=es .
Último acceso: Junio de 2015.
- Sobieski M. (2011). *Seedcorn maggot*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5434908>. Último acceso: Junio de 2015.
- Sosa M.A. (1990). *Manejo integrado de plagas en girasol*. Informe de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Reconquista 39: 4pp.
- Sosa M.A. & Gamudi J.C. (2008). *Características de daños de chinches en soja y criterios para la toma de decisiones de manejo*. En: Chinches fitófagas en soja. Revisión y avances en el estudio de su ecología y manejo. E.V. Trumper & J.D. Edelstein (Eds.). Ediciones INTA. pp. 129-148.
- Sprenkel R. (2006). *Lesser cornstalk borer*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/subthumb.cfm?sub=373>. Último acceso: Junio de 2015.

- Steaven D. (2009). Larve des *Agriotes lineatus*. Disponible en:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Elaterinae#/media/File:Agriotes-lineatus-011.jpg>. Último acceso: Junio de 2015.
- Tesón A., Remes Lenicov A.M., Dagoberto E. & Paradell S. (1986). *Fluctuaciones poblacionales de los cicadélidos que viven sobre maíz y maleza circundante en la zona de Sampacho, Córdoba, Argentina (Homoptera-Cicadellidae)*. Revista Sociedad Entomológica Argentina 44:77-84.
- Torres C., Alvarado L., Senigagliesi C., Rossi E. & Tejo H. (1976). Ovoposición de *Diloboderus abderus* Sturm en relación a la roturación del suelo. Revista IDIA, INTA 32:124-125.
- Tuomi J., Fagerstrom T. & Niemela P. (1991). *Carbon allocation, phenotypic plasticity, and induced defense*. En: Phytochemical induction by herbivores. D.W. Tallamy, & M.J. Raupp (Eds.). pp. 85-114.
- Trumble J.T., Kolodny D.M. & Ting I.P. (1993). *Plant compensation for arthropod herbivory*. Annual Review of Entomology 38:93-119.
- Turlings T.C., Tumlinson J.H. & Lewis W.J. (1990). *Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps*. Science 250:1251-1253.
- Turnipseed S.G. & Kogan M. (1987). *Integrated control of insects*. En: Soybeans: Improvement, Production, and Uses. J.R. Wilcox (Ed.). pp. 779-817.
- University of Georgia Archive. (2006). *Fall armyworm*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1673034>. Último acceso: Junio de 2015
- Villata C.A. & Ayassa A.M. (1994). *Manejo integrado de plagas*. Informe de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi 7: 1-73.
- Vincini A.M. & Sisti D. (1984). *Plagas del maíz*. Apuntes de Zoología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. 29 pp.
- Vincini A.M. & Alvarez Castillo H.A. (2002). *Plagas de los cultivos de girasol, maíz y soja*. En: Bases Para el manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. F.H. Andrade & V.O. Sadras (Eds.). pp. 313-358.
- Virla E. & Remes Lenicov A.M. (1991). Ciclo de vida de *Delphacodes kucheli* criado sobre diferentes hospedantes en condiciones de laboratorio (Homoptera: Delphacidae). En: Actas del Taller de actualización sobre el Mal de Río Cuarto. (INTA-CIMMYT). pp. 104-115.
- Walz F (2013). *Anurogryllus muticus 2 3.jpg*. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anurogryllus_muticus_2_3.jpg. Último acceso: Junio de 2015.
- White W. (2003). *Sugarcane borer*. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/subthumb.cfm?sub=8602> .Último acceso: Junio de 2015.

Willink E., Osoreo V.M. & Costilla M.A. (1993). Daños, pérdidas y niveles de daño económico por *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 70:49-52.

Wright N. (2007a). *Stink bug*. Disponible en:

<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5203044> . Último acceso: Junio de 2015.

Wright N. (2007b). *Stink bug*. Disponible en:

<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5203045>

Wright N. (2007c). *Rice weevil*. Disponible en:

<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5205060>. Último acceso: Junio de 2015.

Zunino H.A. (1971). *Hormigas podadoras, datos biológicos, daños, distribución geográfica, métodos de lucha*. Revista IDIA, INTA 277:54-64.

CAPÍTULO 7

Maíz: Manejo de malezas

María Soledad Zuluaga, Silvina Golik,

María Constanza Fleitas y Carlos Campanela

Malezas

Las malezas son plantas adaptadas a los ambientes modificados por la actividad productiva, que interfieren marcadamente con la misma y constituyen una de las principales causas de pérdidas de rendimiento de los cultivos. Prueba de ellos es la gran cantidad de herbicidas que se utilizan actualmente para mantener a las mismas en niveles que permitan la productividad de los cultivos. En Argentina por ejemplo, los herbicidas constituyen cerca del 70% de los agroquímicos usados en la agricultura (CASAFE, 2000). No obstante el esfuerzo realizado, la presencia de malezas ha acompañado a la agricultura desde su mismo inicio y lo sigue haciendo en la actualidad.

Las características de especies indeseadas y perjudiciales en determinado lugar y en determinado momento son conceptos que han predominado en la concepción de una maleza. Esta concepción pone énfasis en la idea de eliminar la maleza por sobre cualquier otro concepto de manejo de las mismas, siendo su control o erradicación unos de los principales objetivos del hombre.

Sin embargo, es importante reconocer que las malezas son una consecuencia de la agricultura al desplazar reiteradamente los agroecosistemas a etapas sucesionales tempranas, donde los recursos no utilizados son aprovechados por la vegetación espontánea pionera, desencadenando el proceso ecológico de enmalezamiento. Así, bajo este enfoque es posible definir a las malezas como “plantas que, originadas en ambientes naturales, se adaptaron y adaptan a hábitats creados o modificados por el hombre y evolucionan como especies asociadas, interfiriendo con las actividades humanas” (Aldrich & Kremer, 1997).

Por esto es también importante reconocer que las malezas cumplen otros roles en los agroecosistemas. Como ser la prevención de la erosión del suelo, la fijación de carbono, el control del microclima local, la regulación de procesos hidrológicos, el ser hospedantes de fauna benéfica, el funcionar como atrayentes o repelentes de insectos fuera del cultivo, el capturar y acumular nutrientes no tomados por los cultivos, disminuyendo la posibilidad de su lixiviación, y el mantener la diversidad genética a nivel de lote o establecimiento. Por este motivo, el objetivo del manejo sustentable de malezas es lograr sistemas en los cuales su control se realice sólo cuando sea estrictamente necesario considerando, a largo plazo, todos los efectos ambientales y económicos y el impacto

sobre los otros componentes del sistema. Esto implica que se deben mantener niveles de infestación compatibles con una producción económica y ambientalmente sustentable.

Efectos perjudiciales sobre los cultivos

La competencia de las malezas por nutrientes, agua y luz, causando disminuciones sobre el rendimiento de los cultivos, es uno de los efectos más importantes y conocidos de las malezas sobre las plantas cultivadas. Sin embargo, también perjudican a los cultivos a) contaminando el producto cosechado y disminuyendo su valor comercial por el incremento de cuerpos extraños, b) dificultando la cosecha, c) aumentando los costos de limpieza (separación de las semillas de la maleza, por ejemplo de chamico en maíz) y de secado por el aumento de humedad del producto cosechado que pueden ocasionar, d) aumentando el riesgo de incidencia de plagas y enfermedades al actuar como hospedantes de las mismas, e) explotando los recursos que podrían estar disponibles para los cultivos entre los períodos de siembra y cosecha de los mismos, por ejemplo, la presencia de malezas como gramón en lotes de producción obliga al aumento del número de labores, incrementando los costos. Asimismo, si bien las malezas no compiten con el cultivo cuando éstas vegetan en el terreno en barbecho, pueden deprimir la futura oferta de recursos, por ejemplo agua y nitrógeno, para el mismo (Savin *et al.*, 1995). f) dificultando la preparación de la cama de siembra, y g) liberando al medio sustancias que, directa o indirectamente, reducen el crecimiento de las especies asociadas (alelopatía). A través de cualquiera de estos efectos, individualmente o en forma conjunta, las malezas inciden negativamente en la rentabilidad de los cultivos (Bedmar *et al.*, 2002).

Interferencia

La interferencia involucra todos aquellos cambios que operan en el ambiente debido a la proximidad entre plantas. La interferencia se compone de la **alelopatía** (interacción bioquímica que ocurre entre plantas por la presencia de sustancias que inhiben el crecimiento) y la **competencia**.

Competencia

La competencia se puede definir como el proceso por el cual las plantas comparten recursos (nutrientes minerales, agua, luz) provistos en cantidades insuficientes para satisfacer los requerimientos combinados de las poblaciones que compiten, lo que conduce a la reducción en la supervivencia, crecimiento o habilidad reproductiva de todos los individuos (Satorre, 1988). Es importante destacar que la competencia no es por espacio, sino por los factores que se encuentran dentro de él, excepto en los cultivos de raíces. La importancia relativa de los distintos factores de la competencia dependerá de su provisión. Así por ejemplo, en ambientes de alta productividad con elevada provisión de nitrógeno y agua, la competencia por luz adquirirá importancia y las especies más hábiles en competir por este

factor adquirirán predominancia. En condiciones de campo, el principal factor de competencia dependerá del tipo de suelo, el clima y el manejo del cultivo. Por ejemplo, el agua es el principal factor limitante de la producción en muchas áreas de Argentina, siendo la principal responsable de la variación de rendimiento entre sitios y años. Sin embargo, el nitrógeno también suele ser limitante en varios planteos productivos y la aplicación de fertilizantes produce un aumento significativo de los rendimientos (Hall *et al.*, 1992). En la naturaleza es bastante común que dos o más recursos sean limitantes, como agua y nutrientes o agua y luz (Coble & Mortensen, 1992). Normalmente si se considera el ciclo del cultivo, existirán pocas posibilidades de que la competencia sea por un solo factor, no obstante pueden factores individuales estar involucrados por un cierto tiempo y bajo ciertas circunstancias. Esto se debe al dinamismo entre las especies que están compitiendo y el ambiente. A su vez, se debe considerar que la demanda de los distintos recursos pueden no ser al mismo tiempo, por ejemplo un barbecho con abundante presencia de malezas puede hacer un uso importante de agua y nutrientes que luego resultarían en un abastecimiento insuficiente para el cultivo. Los factores de competencia pueden interactuar entre sí en la competencia entre cultivos y malezas, produciendo efectos que no pueden ser explicados por cada factor de manera independiente (Wilson, 1988). La competencia por un factor puede modificar la forma de crecimiento de una de las plantas involucradas, modificando en consecuencia su habilidad para la utilización de otro recurso ambiental. Esto puede verse agravado por las relaciones de densidad que cambian en el tiempo y por otros factores como la temperatura.

Factores de competencia

Competencia por agua

El grado de competencia por agua entre un cultivo y la maleza está determinado principalmente por sus distribuciones radicales (profundidad) y, en menor medida, por el volumen de suelo ocupado por sus raíces (Aldrich, 1984). La absorción de agua desde el suelo deprime el contenido hídrico alrededor de las raíces, produciendo un gradiente. De ahí que la distribución lateral y vertical de las raíces surgen como factores determinantes de la capacidad de extracción. Aldrich y Kremer (1997), han determinado perfiles de extracción de humedad para distintas especies de malezas, estableciendo que una planta de *Kochia scoparia* en la hilera del cultivo es más competitiva que una planta ubicada entre hileras, dado que su distribución lateral es pequeña. En cambio, *Xanthium* spp. Puede ser competitiva aún ubicada entre las hileras, dado su gran volumen radical. Por lo tanto, dependiendo del sistema radical del cultivo y de la maleza y del abastecimiento (precipitaciones) o distribución del agua en el perfil, un mayor desarrollo lateral o en profundidad de las raíces pueden impartir una ventaja competitiva de una especie sobre la otra. También existen diferencias entre especies en la fisiología de las raíces, lo cual también podría afectar la competencia (Altieri & Liebman, 1988). En este sentido se han establecido diferencias en la eficiencia de uso del agua.

Otro factor a considerar es la habilidad competitiva entre los cultivos y las malezas en la captación del agua. Así suele suceder que las especies que producen mayor biomasa bajo condiciones de humedad suelen ser las más afectadas bajo condiciones de sequía.

Competencia por nutrientes

La competencia por nutrientes está asociada con la dinámica del agua pues éstos se absorben en solución y se mueven en el suelo por difusión o flujo masal en agua. La competencia por nutrientes móviles en el suelo (por ejemplo N, S) puede establecerse entre raíces distanciadas entre sí. En cambio, para que haya competencia entre raíces por nutrientes poco móviles (por ejemplo P, K), éstas deben estar muy próximas, pues el gradiente de depresión del recurso desde la raíz es mucho más estrecho. Por ello, la competencia por éstos últimos sería menos intensa que por nutrientes móviles (Aldrich, 1984), particularmente en las etapas tempranas del ciclo, cuando los cultivos y las malezas no poseen sistemas radicales muy desarrollados. Sin embargo, la distribución espacial de las plantas y la densidad del cultivo y de las malezas pueden influir marcadamente sobre este proceso.

El agregado de fertilizantes, cuando existe competencia por nutrientes, puede reducir los efectos negativos de esa competencia o producir cambios en el orden de dominancia de las especies modificando la habilidad competitiva de los cultivos respecto de las malezas (Satorre, 1988). Por ejemplo, Fernández (1988) demostró en sistemas maíz/gramón, que tanto en años con deficiencias hídricas como con abundantes precipitaciones estivales, la fertilización con fosfato diamónico atenuó los efectos de competencia del gramón sobre el rendimiento de maíz, aunque los mismos fueron más importantes en el año seco. Similarmente, Tanoni (1994) sugirió que el agregado de nitrógeno hasta una disponibilidad que exceda los requerimientos combinados de gramón y del maíz neutraliza los efectos de la competencia de la maleza y aumenta la habilidad competitiva del maíz, reduciendo la producción de biomasa de rizomas viables de gramón. Sin embargo, en varios casos el agregado de fertilizante aumentó la competencia por luz en sistemas enmalezados, sin beneficio para el cultivo.

Los genotipos de un cultivo pueden presentar diferencia de captación según el ciclo. Así híbridos de maíz de ciclo corto suelen ser relativamente más competitivos que los de ciclo largo, frente a una situación de competencia por nutrientes. Satorre *et al.* (1992) encontraron diferencias en la habilidad de dos híbridos de maíz para competir con sorgo de Alepo, en un amplio rango de densidades de la maleza, presentando mayor habilidad competitiva los híbridos de maduración temprana.

Competencia por luz

En términos generales, la proporción del área foliar correspondiente al cultivo y a la maleza, el ángulo de inserción de las hojas y las alturas relativas de las especies son factores críticos en el resultado de la competencia cultivo-maleza por luz (Pike *et al.*, 1990). Los cultivos pueden ser hábiles competidores por luz frente a algunas especies malezas; por ejemplo, el crecimiento y

productividad de gramón fue marcadamente reducido cuando cultivos de soja y maíz lograron alcanzar niveles de intercepción de la radiación incidente superiores al 65% (Solari *et al.*, 1997). Si la disponibilidad de agua y nutrientes es elevada, la tasa de crecimiento del cultivo en sistemas enmalezados está asociada con la proporción de luz que sus hojas son capaces de interceptar, y dicho recurso se convierte en el factor de competencia más importante (Kropff, 1993). Por lo tanto, la posición de las hojas en el canopeo como la altura de las plantas constituyen los factores de mayor relevancia en el resultado de la competencia. La mayor altura de las plantas asegura una mayor participación en la captura del recurso (Zimdhal, 1980). Ford & Pleasant (1994), expresaron que las características de la arquitectura de la planta pueden proveer al maíz la habilidad de competir más efectivamente contra las malezas. Plantas altas, con hojas anchas y con gran cantidad de hojas orientadas horizontalmente, pueden reducir la penetración de la luz a nivel del suelo. Una reducción de la luz en la superficie del suelo disminuiría, entonces, la germinación de algunas especies de malezas y el crecimiento de las plántulas pero beneficiaría a otras (Manetti & Bedmar, 1995).

Alternativas de manejo de las malezas

La visión simplista, basada en la idea que las malezas pueden ser eliminadas a través del uso de productos químicos, debe dar paso a una idea de manejo integrado de malezas (MIM) donde se busque mantener sus poblaciones por debajo de ciertos umbrales, compatibles con la idea de una agricultura ambientalmente más sana, pero económicamente rentable. El manejo de malezas involucra trabajos que aportan conocimientos en áreas tales como dinámica de semillas en el suelo; emergencia, fisiología, crecimiento y reproducción de las malezas, interacción entre malezas y cultivos, reconocimiento y distribución de malezas, además de adaptación y evaluación de técnicas para controlarlas (Thill *et al.*, 1991).

Las bases ecológicas de la dinámica poblacional buscan poner en evidencia aquellos aspectos que hacen de una maleza una población exitosa, a fin de neutralizarlos. En este sentido, Fernández (1991) buscó establecer correlaciones morfométricas entre atributos de estructuras aéreas y subterráneas de gramón para referir a estados poblacionales de la maleza. Observó que la longitud de estolones no resultaba un buen indicador del estado poblacional de la maleza, pues estaba fuertemente condicionada por la población de propágulos vegetativos y su distribución en el perfil. Satorre *et al.* (1996) relacionaron la emergencia y el establecimiento de gramón a la salida del invierno con las unidades térmicas acumuladas por la maleza sobre una temperatura base de 8 °C. En el mismo estudio esos autores sugirieron que el consumo de reservas de las estructuras vegetativas durante la brotación de gramón, junto a su baja eficiencia de utilización para la generación de nuevas estructuras determinaría que durante el establecimiento temprano, el gramón atravesaría un período crítico para su supervivencia alrededor de las 240-270 unidades térmicas acumuladas.

Además del manejo de poblaciones, el MIM, incorpora prácticas de labranza; cobertura del suelo por restos del cultivo anterior, a fin de evitar procesos erosivos y de controlar la germinación de

las semillas de malezas y emergencia de plántulas; siembra de cultivos que tengan la capacidad de generar sustancias alelopáticas, como el centeno; aplicación de herbicidas en la línea de siembra para controlar las malezas con recursos mecánicos en la entrelínea, lo que puede reducir entre un 50 y 70% el uso de herbicidas; utilización de agentes de control biológico; aplicación de bioherbicidas; distribución de las plantas de cultivo (arreglo espacial) de manera tal que logren una cobertura más rápida del suelo a fin de favorecer el sombreado y la conservación de la humedad; aplicación de fertilizantes de manera que sean más aprovechados por el cultivo que por las malezas; definir rotaciones de cultivos que necesiten de diferentes estrategias de control de malezas para evitar la utilización repetida de los mismos herbicidas.

Períodos críticos de competencia

Las especies empiezan a capturar recursos desde la emergencia. En las etapas iniciales, cuando las plantas son aún muy pequeñas, utilizan pocos recursos (salvo que las densidades sean muy elevadas) y estos difícilmente sean insuficientes para satisfacer la demanda combinada del cultivo y las malezas. Sin embargo, a medida que las plantas crecen los recursos capturados por las malezas aumentan y los efectos de su reducción pueden resultar irreversibles o sólo parcialmente compensados por el cultivo si éste fuera desmalezado. La capacidad de compensación depende de los procesos afectados en el cultivo y de la naturaleza del recurso o factor de competencia. Si al eliminar la maleza el recurso está inmediatamente disponible para el cultivo (por ejemplo, luz) la capacidad de compensación aumenta; pero, si el recurso no está disponible para el cultivo (por ejemplo, nitrógeno retenido en los tejidos o agua del suelo transpirada por la maleza) la capacidad de compensación se reduce y dependerá de la dinámica de esos factores en el sistema (distribución de lluvias o de mineralización) (Bedmar *et al.*, 2002).

El período del ciclo del cultivo en que la presencia de la maleza, reduce el rendimiento del cultivo fue denominado periodo crítico de competencia y fue introducido por primera vez por Nieto *et al.* (1968). Este periodo refleja la etapa del ciclo del cultivo que debería permanecer libre de malezas para que no se produzcan pérdidas significativas en el rendimiento. Este concepto debe ser diferenciado del que se refiere al período crítico de supervivencia de la maleza, es decir, aquella etapa del ciclo de vida de la maleza en la que un tratamiento de control sería más eficaz (Ghersa *et al.*, 1990). También debe diferenciarse del período crítico para la formación del rendimiento en ausencia de malezas.

A partir del concepto de período crítico para el control de malezas se desarrollaron los conceptos de período crítico de control tardío (PCTA) para representar el máximo período de tiempo que un cultivo puede convivir con las malezas desde su siembra o emergencia sin afectar significativamente su rendimiento y, como contrapartida, el período crítico de control temprano (PCTE), para describir aquel período mínimo que un cultivo debe permanecer libre de malezas para que la emergencia posterior de las mismas no afecte su rendimiento. El PCTA indica hasta qué momento se podrá esperar para aplicar herbicidas o realizar labores mecánicas de postemergencia sin sufrir pérdidas significativas de rendimiento, mientras que

el PCTE expresa durante cuánto tiempo se deberán extender las labores mecánicas que se realicen en el cultivo o qué periodo de residualidad mínimo debería poseer un herbicida que se aplique en presembrado ó preemergencia del cultivo. Considerando estos conceptos se podría realizar un manejo más racional de las malezas, evitando labores innecesarias fuera del período adecuado o aplicaciones de herbicidas con demasiada residualidad .

Los períodos críticos usualmente se expresan en días o semanas desde la emergencia o siembra del cultivo. Sin embargo, dadas las diferentes fechas de siembra y condiciones ambientales, se hace muy dificultoso realizar comparaciones entre la información existente, por lo que deberían referirse a estados fenológicos o unidades térmicas acumuladas (Bedmar *et al.*, 1999). La mayor parte de los períodos de competencia citados para maíz son variables y generalmente referidos a número de días desde la siembra o emergencia. La variación observada en la duración de los períodos es fruto de las diferentes condiciones en que se desarrollaron los cultivos, de las características de las poblaciones de malezas y la pérdida de rendimiento considerada. Para cultivos de maíz sembrados en Balcarce a principios de noviembre, el PCTA se extendería hasta la quinta ó sexta hoja desarrollada, aproximadamente 20 días desde la emergencia; es decir las malezas emergidas tempranamente en el cultivo deberían ser controladas antes de este estado para evitar pérdidas de rendimiento superiores al 2,5%. Las malezas que emergen con posterioridad a las siete hojas del maíz no ocasionarían pérdidas de magnitud a los cultivos (Bedmar, 2008). La implicancia práctica de estos resultados es que no sería necesario el control mecánico o la residualidad de un herbicida de presembrado o preemergente más allá del estado de siete hojas, aproximadamente 25 a 30 días desde la emergencia.

Control de malezas

Existen diversos métodos para el control de malezas en maíz. Entre ellos, el control, cultural, mecánico y químico son los más difundidos. El control de las malezas comienza con el barbecho, con la finalidad de modificar la dinámica poblacional de las malezas y evitar la explotación de recursos y continúa durante el cultivo, con la finalidad de modificar el balance de competencia a favor del cultivo.

Control cultural

Varios son los que se deben considerar para mitigar la competencia entre cultivo y maleza. Entre ellos, a) la especie y variedad/híbrido del cultivo y la especie de maleza, b) la densidad de la maleza, c) el momento de emergencia de la maleza en relación al cultivo, y d) las características de manejo del cultivo y las condiciones de producción, como densidad, arreglo espacial, fertilización o riego, tipo de suelo y clima.

El efecto negativo de las malezas usualmente se puede reducir con el aumento de la densidad del cultivo, es decir, cultivos más densos son más competitivos. El arreglo espacial de las plantas del cultivo puede influenciar en la competencia; si bien es aceptado que el efecto de

la densidad es de mayor importancia. Las tendencias actuales coinciden en señalar como ventajosos los sistemas de cultivo que buscan una distribución equidistante entre las plantas. De esta manera, se logra antes el IAF crítico que es el que intercepta el 95% de la radiación y posibilita obtener la máxima tasa de crecimiento del cultivo. La siembra de cultivos con menor distancia entre surcos posterga la iniciación de la competencia entre plantas del cultivo (intraespecífica) situadas sobre la misma hilera. Esto produce un mejor desarrollo de las mismas y una más rápida cobertura del terreno, factor que asegura una buena capacidad competitiva inicial del cultivo por luz y factores edáficos. Este manejo resulta importante frente a situaciones donde las condiciones no son favorables para una rápida cobertura, e.g. siembra directa, siembras tempranas, baja altura de las plantas, cultivares erectos, etc.

La elección del cultivar también puede contribuir para que el cultivo produzca un sombreado más rápido del suelo y evite, de esta forma, la germinación de más malezas y el desarrollo de las que germinan. Es generalmente aceptado que la especie que emerge primero gana una ventaja competitiva (Wilson, 1988).

Asimismo, la habilidad competitiva del cultivo aumenta al demorar la emergencia de las malezas; este efecto es generalmente logrado con la aplicación de herbicidas residuales en pre-siembra o pre-emergencia del cultivo. Este tipo de tratamientos modifica la estructura de la población de malezas, al eliminar a los individuos que emergerían tempranamente.

La época de siembra constituye un importante factor que altera el proceso de competencia debido a que influye en el desarrollo cultivo y en la composición cuali y cuantitativa de malezas (Leguizamón *et al.*, 1980). Generalmente, el atraso en la fecha de siembra de girasol, maíz y soja produce una aceleración del crecimiento y del desarrollo inicial del cultivo debido a mayores temperaturas durante la etapa vegetativa. En el caso del maíz, las plantas en siembras tardías logran un gran porte y un mayor IAF, presentando mejores posibilidades competitivas. En base a esto, se puede pensar que las medidas de control que se efectúen cuando se realicen siembras tempranas, deberían ser de mayor presión y duración que en el caso de siembras tardías.

Control mecánico

Su uso es limitado, dado que la mayor parte del cultivo de maíz se realiza en siembra directa. *Para que resulte* eficiente, las labores se deben efectuar correcta y oportunamente.

El tipo de labores que se realice afecta, también la distribución vertical de las semillas en el perfil del suelo. Ball (1992) y Clements *et al.* (1996), encontraron que cuando el suelo es preparado de manera que no se invierta el pan de tierra, las semillas de malezas con el transcurso del tiempo serán más numerosas en los primeros 5 cm de suelo. En cambio, si el suelo es laboreado de la manera “tradicional” las mismas tienden a acumularse en el estrato de los 10 a 15 cm. A su vez, cuando se analiza el efecto combinado de tipo de labores con cobertura del suelo por residuos de cultivos anteriores, Teasdale *et al.* (1991) encontraron que se necesita una cobertura del suelo del 42% como mínimo para tener disminuciones

significativas en la densidad de malezas, y que con una cobertura del 97% se puede reducir la densidad en un 75%.

Labores de presiembra (secundaria)

Tienen como objetivo terminar de preparar la cama de siembra y controlar malezas anuales y en parte las perennes. Pueden emplearse rastra de disco, cultivador de campo y vibrocultivador, rastra de dientes y rotativa. En situaciones de riesgo de erosión eólica existen una serie de implementos que permiten el control, entre las cuales pueden utilizarse la desarraigadora de púas (puerco espín), rastrón poceador, barra escardadora y pie de pato.

Labores de preemergencia del cultivo

Dentro de estas herramientas se encuentran la rastra de dientes y la rastra rotativa, que permite también eliminar el planchado superficial si ocurriese antes de la emergencia del cultivo. La efectividad del control realizado por estos equipos está en función del peso, la velocidad de trabajo y la dirección de pasada (sesgo o en dirección de la hilera del cultivo).

Labores de post-emergencia del cultivo

Son aquellas que se efectúan una vez que las plantas han emergido. Los objetivos, entre otros, son:

- control de malezas.
- ruptura del encostramiento superficial.
- aireación profunda del suelo.

Las herramientas utilizadas son (aquí es conveniente considerar el tipo de siembra):

Siembras planas

- rastra de dientes y rastra rotativa: eliminan plántulas de malezas de escaso desarrollo. Cuando se utilizan en cobertura total, se deben comenzar a pasar cuando las plántulas del cultivo hayan alcanzado un enraizamiento adecuado, para que no sean arrancadas.
- escardillo y aporcador: eliminan malezas de mediano desarrollo. Estas dos últimas herramientas eliminan a las malezas del entresurco por corte, y a las de las hileras del cultivo por tapado con tierra. Si el cultivo no tiene un crecimiento suficiente deberá pasárselas con dispositivos protectores para evitar el tapado de plantas.

Siembra en semilister:

- rastra de dientes y rastras puercoespín. Eliminan malezas por arranque y tapado con tierra. En este caso el cultivo debe tener una altura similar o superior a la del camellón para evitar ser tapado.
- escardillo: trabaja en forma similar que en la siembra plana, pero requiere una labor previa de emparejamiento del suelo con rastra de dientes o puercoespín.

Control químico

Los herbicidas pueden ser aplicados en el barbecho previo a la siembra directa del cultivo (se conoce como barbecho químico); en presiembra incorporado; en preemergencia y en postemergencia.

Durante el barbecho la aplicación de herbicidas permite reemplazar totalmente las labores de la cama de siembra, utilizando diversos productos de acuerdo a las malezas presentes (Tabla 7.1).

Los productos de preemergencia, se aplican en el momento de la siembra y antes de emerger el cultivo. Para que resulten efectivos deben ocurrir precipitaciones antes de los 15 días desde su aplicación para su pasaje a la solución del suelo (Tabla 7.2).

En postemergencia los tratamientos resultan mas efectivos cuando las malezas son pequeñas (2 a 4) hojas (Tabla 7.3).

Tabla 7.1. Herbicidas registrados para su aplicación en barbecho o en presiembra.

Herbicida	Formulación y concentración del principio activo	Dosis (producto comercial.ha ⁻¹)
Acetoclor	EC 90%	2-3 l
Acetoclor+protector	EC 84%	2,5-3,5 l
Atrazina	SC-EC 50%/WG 90%	5 l/2,8-3 kg
Atrazina+ Metolacloro	WG 90%+SC 96%	1,6 kg+ 1,6 l-2 kg+2 l+2 l
Atrazina+S- Metolacloro	WG 90%+SC 96%	1,6 kg+ 1,08 l-2 kg+2 l+1,3 l
Carfentrazone	EC 40%	50-75 cm ³ +0,5% aceite mineral
Dimetanamida	EC 90%	1,2-1,8+2 l atrazina (50%)
Flumioxazin+Glifosato	SC 48%+varias	50-100 cm ³ +Glifosato
Glifosato	Varios	Variable según formulación
Iodosulfuron+Thiencarbazone	WW (6+45%)	30-45 g
Paraquat	SL 27,6%	1,5-3 l
S-Metolacloro	EC 96%	1,3- 1,6 l

¹ Respetar el periodo de espera

Tabla 7.2. Herbicidas registrados para su aplicación en preemergencia.

Herbicida	Formulación y concentración del principio activo	Dosis (producto comercial/ha)
Acetoclor	EC 90%	2-3 l
Acetoclor+Atrazina	EC 90%+SC 50%	2+2-3+3 l
Acetoclor+Fluorocloridona	EC90%-EC84%+EC25%	1+1-1,5+1,5 l
Acetoclor+ protector	EC 84%	2,5-3,5 l
Atrazina	SC-EC 50% WG 90%	4-5 l 2,2-2,8 kg
Atrazina+Metolacloro	WG 90%+SC 96%	1,6 kg+1,6 l-2kg+2 l
Atrazina+S-Metolacloro	WG 90%+SC 96%	1,6kg+1,08 l-2kg+1,3 l
Bicyclopirone	EC	1 l
Dimetanamida	EC 90%	1,2-1,8 l+2 l atrazina (50%)
Imazapic+Imazapir	WG 70%(52,5%+17,5%)	114 g
Isoxaflutole	WG 75%	70- 80 g+2-3 l de atrazine (50%)

Tabla 7.3. Herbicidas registrados para su aplicación en postemergencia.

Herbicida	Formulación y concentración del principio activo	Dosis (producto comercial/ha)
Acetoclor	EC 90%	2-3 l
2,4 D	EC 100%	0,4-0,5 l
	EC 60,2%	0,5-0,75 l
	SL 87%	0,35-0,65 l
2,4 D+Picloram	SL 24%+6,4%	0,4 l
Atrazina	SC-EC 50%	3-4 l
	WG 90%	1,7-2,2 kg
Dicamba	SL 57,7%	015 l
	WG 87,5%	0,1-0,14 l
Dimetanamida	EC 90%	1,2-1,8 l+2 l atrazina (50%)
Foramsulfuron+Iodosulfurom	WG (30%+2%)	100-120 g+ sulfato de amonio 2 kg+Optimizer1,6 l
Glifosato ⁴	SG 74,7%	1,3-2,6 kg
Glufosinato de amonio (LL) ³	SL 20%	1,5-3,5 l
Halosulfuron+ Glifosato (RR) ⁴	SG 75% +SG 68%	30-50 g+ 1,3 kg
Imazapic+Imazapir ²	WG70 (52,5%+17,5%)	114 g
Imazapic + Imazapir + Saflufenacil ²	WG (52,5% +17,5% + 70 g)	114 g

^{2,2} Aplicar sólo en maíces Clearfield, ³LL: aplicar sólo en maíces Liberty Link, ⁴RR: aplicar sólo en maíces resistentes a Glifosato

Las dosis a usar dependerán del tipo de suelo que se trate y de su porcentaje de materia orgánica. En general, los suelos más livianos y/o con menor contenido de materia orgánica requieren dosis menores que los pesados y/o provistos de mayor cantidad de materia orgánica. Se pueden aplicar sobre la totalidad del suelo o sobre la banda de siembra, con el consiguiente ahorro de producto.

Uso de cultivos resistentes a herbicidas

Dentro de las ventajas de su empleo se encuentran:

- Brindan una nueva alternativa para resolver situaciones difíciles de manejo de malezas.
- Permiten reducir las pérdidas por daños de herbicidas a los cultivos.
- Proveen una alternativa de uso de herbicidas con un único modo de acción para manejar las poblaciones de malezas resistentes.
- Mejoran el manejo de malezas en los sistemas productivos
- simplificar el manejo de malezas reduciendo el uso de herbicidas a situaciones de post-emergencia, usando solamente un herbicida de amplio espectro que se descomponga relativamente rápido en el suelo.

Pero, existen distintos tipos de riesgos con su implementación (Warwick *et al.*, 1999). Uno de ellos radica en el “escape” de las plantas transgénicas de los sistemas productivos y su establecimiento como maleza en hábitats agrícolas (disturbados) o naturales. Es por eso que

es necesario realizar un seguimiento detallado de esta posibilidad a lo largo de los años de la rotación. Otro riesgo es la introgresión (hibridación e infiltración) génica dentro de las malezas y especies silvestres relacionadas. Este riesgo se ha mencionado para maíz y teosinto dado el flujo génico entre ambas especies. Donde exista la posibilidad de cruzamiento, el cultivo deberá ser establecido a distancias adecuadas de las especies silvestres relacionadas, minimizando el transporte de polen. El tercer riesgo es el aumento de las posibilidades de que se desarrolle resistencia a los herbicidas en la población de malezas debido al uso reiterado de los mismos. Así, por ejemplo se ha detectado resistencia a glifosato en poblaciones de *Lolium rigidum* en Australia (1996) y de *Lolium multiflorum* en EEUU (1998). También se han establecido la existencia de resistencia en poblaciones de Avena fatua y su cruzamiento con *Avena sterilis* (Cavan et al., 1998), resultando en una dispersión de la resistencia. Es por ello, que es necesario desarrollar estrategias integradas que no impartan una alta presión de selección sobre las malezas a fin de retardar la aparición de resistencia.

Uso de la resistencia en el cultivo de maíz.

En la actualidad se ha desarrollado resistencia a herbicidas en el cultivo de maíz a las imidazolinonas, sethoxydim, glufosinato de amonio y a glifosato (Acciaresi, 2007).

- Resistencia a imidazolinonas

Esta familia química se utiliza para el control selectivo de gramíneas y latifoliadas en cultivos de hoja ancha en presiembra incorporado, en preemergencia y en post-emergencia temprana. Se desarrolló en EEUU (1992) por cultivos de tejidos in vitro, la tecnología denominada Imi-corn, la cual involucra maíces resistentes (IR) y tolerantes (IT) lo cual brinda un control de malezas en el cultivo de amplio espectro.

- Resistencia a sethoxydim

Este principio activo se utiliza para el control en post-emergencia de gramíneas anuales y perennes en cultivos de hoja ancha. Su obtuvo de forma similar a la de las imidazolinonas y fue utilizado comercialmente en 1996 en EEUU. La utilización de esta tecnología ha disminuido sustancialmente debido al desarrollo de la resistencia a glufosinato de amonio y glifosato.

- Resistencia a glufosinato de amonio

El glufosinato se utiliza en post-emergencia provocando la producción de amonio en concentraciones tóxicas en la planta. Tiene una rápida acción tóxica. El gen que produce la inactivación enzimática del glufosinato fue obtenido de *Streptomyces hygroscopicus*. El sistema de control con maíces resistentes se lo llama Liberty Link.

- Resistencia a glifosato

Este principio activo es un herbicida total de acción sistémica. Funciona bloqueando enzima EPSPS en el camino metabólico de los aminoácidos aromáticos, interrumpiendo la síntesis proteica en la planta. Se ha introducido un gen de tolerancia obtenido de una bacteria del suelo. Este gen codifica una enzima EPSPS modificada que es tolerante a glifosato. En 1992 se otorga la autorización para la liberación en ensayos en campo por la CONBIA, recibiendo el maíz RR (Roundup Ready) la aprobación en 1999. Existen diversas empresas que han producido eventos resistentes a glifosato.

Principales Malezas del Cultivo

Se presentan las especies más importantes de la región maicera.

Gramíneas y Ciperáceas perennes

- Sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) (Fig. 7.1)
- Gramón (*Cynodon dactylon*) (Fig. 7.2)
- Cebollín (*Cyperus rotundus*) (Fig. 7.1)
- Agropiro invasor (*Elytrigia repens*)

Gramíneas anuales

- Pasto cuaresma (*Digitaria sanguinalis*) (Fig. 7.2)
- Capín (*Echinochloa crusgalli*)
- Pata de ganso (*Eleusine indica*) (Fig. 7.3)
- Cola de zorro (*Setaria verticillata*) (Fig. 7.3)

Latifoliadas perennes:

- Camanbú (*Physalis viscosa*)
- Diente de león (*Taraxacum officinale*) (Fig. 7.4)
- Espina colorada (*Solanum sisymbriifolium*)
- Lagunilla (*Alternanthera philoxeroides*) (Fig. 7.4)
- Senecio (*Senecio madagascariensis*)
- Yuyo de San Vicente (*Artemisia verlotorum*)

Latifoliadas anuales:

- Yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*)
- Chinchilla (*Tagetes minuta*) (Fig. 7.5)
- Quinoa (*Chenopodium album*) (Fig. 7.5)
- Malva (*Anoda cristata*)
- Verdolaga (*Portulaca oleracea*) (Fig. 7.6)
- Chamico (*Datura ferox*) (Fig. 7.6)
- Abrojo grande (*Xanthium cavanillesii*)

Amor seco (*Bidens subaltemans*)
 Lecherón (*Euphorbia heterophylla*)
 Sunchillo (*Wedelia glauca*)
 Albahaca silvestre (*Galinsoga parviflora*)
 Cerraja (*Sonchus oleraceus*) (Fig. 7.7)
 Rama negra (*Conyza bonariensis*) (Fig. 7.7)
 Violeta silvestre (*Viola arvensis*)
 Zapallito amargo (*Cucurbita andreana*)



Figura 7.1. **A.** Sorgho de Alepo (*Sorghum halepense*). **B.** Cebollín (*Cyperus rotundus*).
 Fuente: Swearingen (1198) y Miller (2005) respectivamente



Figura 7.2. **A.** Gramón (*Cynodon dactylon*). **B.** Pasto cuaresma (*Digitaria sanguinalis*).
 Fuente: Bryson (2005) y Wallace (2009) respectivamente



Figura 7.3. **A.** Pata de ganso (*Eleusine indica*). **B.** Cola de zorro (*Setaria verticillata*).
Fuente: Byrd (2005) y Great Smoky Mountains National Park Resource Management (2004)



Figura 7.4. **A.** Diente de león (*Taraxacum officinale*). **B.** Lagunilla (*Alternanthera philoxeroides*).
Fuente: Harper-Lore (2003) y Evans (2006) respectivamente

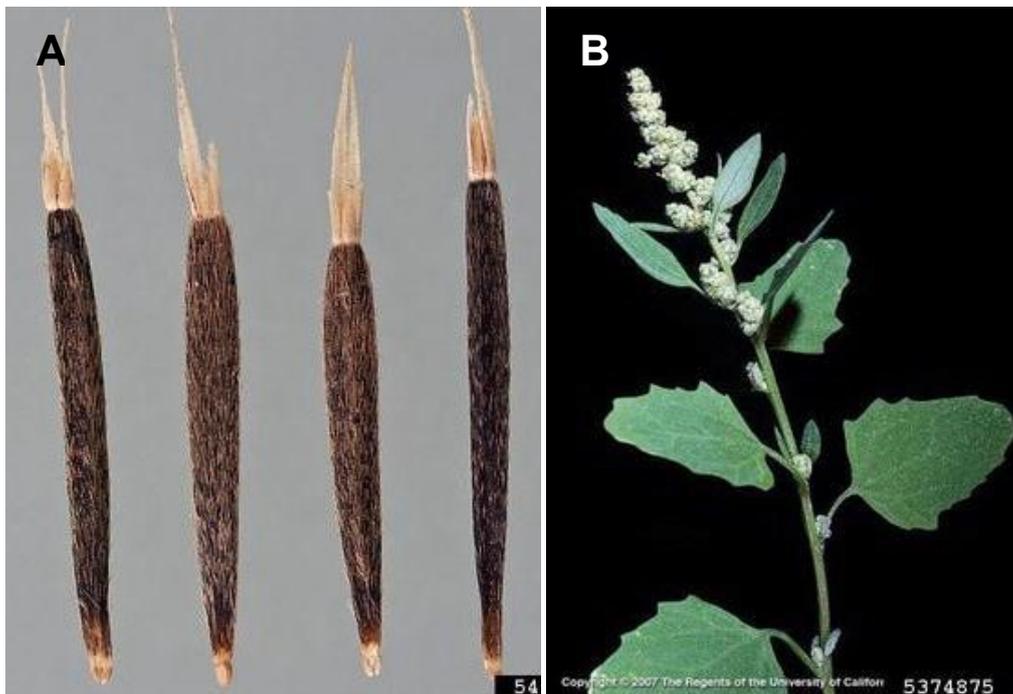


Figura 7. 5. **A.** Chinchilla (*Tagetes minuta*). **B.** Quinoa (*Chenopodium álbum*).
Fuente: Walters & Southwick (2012) y DiTomaso (2008) respectivamente



Figura 7. 6. **A.** Verdolaga o portulaca (*Portulaca oleracea*). **B.** Chamico (*Datura ferox*).
Fuente: Westra (2008) y Starr & Starr (2010) respectivamente



Figura 7. 7. **A.** Cerraja (*Sonchus oleraceus*). **B.** Rama negra (*Conyza bonariensis*).
Fuente: Evans (2005) y Starr & Starr (2008) respectivamente

Básicamente la atrazina y los herbicidas hormonales (2-4 D, etc.) controlan malezas latifoliadas; en tanto que el acetoclor y metolacoloro controlan gramíneas anuales. Las sulfonilureas (halosulfuron, nicosulfurón y otros) controlan gramíneas perennes y anuales. Las ventanas de aplicación en postemergencia varían entre 2-3 hojas para atrazina o acetoclor hasta 3 a 8 hojas en el caso de los hormonales.

Bibliografía

- Acciaresi H. (2007). *Guía Didáctica: Malezas en el cultivo de Maíz*. UNLP. 12 pp.
- Aldrich R.J. & Kremer R.J. 1997. Principles in weed management. Iowa State University Press Ames.
- Aldrich R.J. (1984). *Weed-crop ecology*. Principles in weed management. Breton Publis, North Scituate, MA 465 pp.
- Altieri M.A. & Liebman M. (1988). *Weed managment in agroecosystems: Ecological approaches*. M.A. Altieri & M. Liebman (Eds). CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. 345 pp.
- Ball D. (1992). *Weed seedbank response to tillage, herbicides, and crop rotation sequence*. Weed Science 40: 654-659.
- Bedmar F. (2008). *Malezas en el cultivo de maíz*. En Producción de Maíz. AACREA, Buenos Aires. 132 pp.
- Bedmar F., Eyherabide J. & Satorre E.H. (2002). *Bases para el manejo de malezas*. En Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade FH & V.O. Sadras. 450pp.
- Bedmar F. (1999). *Manejo de malezas en girasol*. INTA Balcarce. 84 pp.
- CASAFE. (2000). *Cámara de sanidad agropecuaria y forestal*. <http://www.casafe.org/quienes-somos/guia/>. última consulta junio 2015.
- Cavan G.P., Bliss S. & Moss S.R. (1988). Herbicide resistance and gene flow in wild oats (*Avena fatua* and *Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*). Annals of Applied Biology 133: 207-217.
- Clements D.R., Benoit D. L., Murphy S.D. & Swanton C.J. (1996). *Tillage effects on weed seed return and seedbank composition*. Weed Science 44: 314-322.
- Fernández O.N. (1988). *Influencia de la fertilización con fosfato diamónico sobre la competencia de gramón en maíz*. XI Reunión de ASAM. Carlos Paz, Córdoba. 102 pp.
- Ford G.T. & Pleasant J.M. (1994). *Competitive abilities of six corn (Zea mays L.) hybrids with four weed control practices*. Weed Technology 8: 124-128.
- Ghersa C.M., Benech-Arnold R.L. & Satorre E.H. (1997). *Weed population dynamics and integrated weed management*. Recent Development Agronomy. 1: 59-73.
- Hall M.R., Swanton C.J. & Anderson G.W. (1992). *The critical period of weed control in grain corn (Zea mays)*. Weed Science 40:441-447.
- Kropff M.J. (1993). *Mechanisms of competition for light*. Chapter 4:33-61.
- Leguizamón E., Colombo M.E., Salinas A. & Severin C. 1980. Modelos de flujos de emergencia en 19 especies de malezas. Malezas 8: 3-11.
- Manetti P.L. & Bedmar F. (1995). *Efecto de la competencia de maíz (Zea mays) sobre la comunidad de malezas*. XII Congreso Latinoamericano de malezas.
- Nieto J.H., Brondo M.A. & Gonzalez J.T. (1968). *Critical periods of the crop growth cycle for competition from weeds*. PANS(C) 14: 159-166.
- Pike D.R., Stoller E.W. & Wax L.M. (1990). *Modeling soybean growth and canopy apportionment in weed soybean (Glycine max) competition*. Weed Science 38:522-527.

- Satorre E.H. (1988). *The competitive ability of spring cereals*. PhD Thesis, University of Reading, U.K. 262 pp.
- Satorre E.H., Gioia A., Di Bona. 1992. *Comportamiento de dos híbridos comerciales de maíz frente a distintas densidades de cultivo y de sorgo de Alepo (Sorghum halepense L. Pers.)*. Actas XII Reunión Argentina sobre la maleza y su control. 2: 161-167.
- Satorre E.H., Rizzo F.A. & Arias S.P. (1996). *The effect of temperature on sprouting and early establishment of Cynodori dactylon*. Weed Research. 36: 431-440.
- Savin R., Satorre E.H., Hall A.J. & Slafer G.A. (1995). *Assessing strategies for wheat cropping in the monsoonal climate of the pampas using the CERES-wheat simulation model*. Field Crops Research. 42: 81-91.
- Solari F., Satorre E.H., Arias S. & Guglielmini A.C. (1997). *Interacciones entre soja (Glycine max) y gramón (Cynodon dactylon) en cultivos en siembra directa*. XII Congreso Latinoamericano de malezas, Buenos Aires. Libro de Resúmenes 167 pp.
- Tanoni L.B. (1994). *Nitrógeno como factor determinante del balance competitivo entre maíz (Zea mays L.) y gramón (Cynodon dactylon L.)*. Tesis Msci. UNMDP. 63 pp.
- Teasdale J.R., Bestse C.E. & Potts W.E. (1991). *Response of weeds to tillage and cover crops residue*. Weed Science 39: 195-199.
- Thill, D.C., Lish J.M., Callihan R.H. & Bechinski E.J. (1991). *Integrated Weed Management- A componenet of Integrated Pest Management: a critical review*. Weed Technology. 5: 648-656.
- Warwick S.I, Beckie H.J. & Small E. (1999). *Transgenic crops: new weed problems for Canada*. Phytoprotection 80: 71-84.
- Wilson B.J. (1988). *The effect of initial advantage on the course of plant competition*. Oikos 51: 19-24.
- Zimdahl R.L. (1980). *Weed-crop competition- A review*. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 195 pp.

CAPÍTULO 8

Maíz: Zonas de cultivo

*Silvina Golik, Matías Schierenbeck
y María Constanza Fleitas*



Figura 8.1. Áreas productoras principales y secundarias de maíz en Argentina. Adaptado de Intagro (2015)



Figura 8.2. Principales provincias productoras de maíz . Adaptado de Intagro (2015)

Dentro de la región cerealera pueden diferenciarse distintas zonas teniendo en cuenta la importancia económica y social del cultivo del maíz. No existe un criterio único (Figs. 8.1 y 8.2): el grupo CREA la divide en 16 zonas productoras, el MAGyP (MinAgri) da los valores de producción por provincias, en tanto que La Bolsa de Cereales de Rosario la divide en 14 zonas. En este capítulo, nos referiremos a la zona núcleo y alrededores.

Zona núcleo o típica

Comprende el Norte de Bs.As., Sur de Santa Fé y Sudeste de Córdoba. Es una zona que representa las mejores condiciones agroecológicas para el cultivo, en la que se encuentra el mayor desarrollo tecnológico y donde se alcanzan los rendimientos promedios más altos.

Características generales

Suelo

Varían de E a O. En aproximadamente la mitad oriental de la subregión, predominan los Argiudoles con un horizonte A de textura franco limoso, con una profundidad entre 15 y 45 cm. y un contenido en materia orgánica variable entre 2,5 a 5%, que varía según el manejo productivo. Pasa gradualmente hacia uno más arcilloso (B2t) que se extiende hasta más o menos un metro de profundidad, de color pardo y estructura prismática.

El B2t es la principal limitante que presentan estos suelos, sobre todo cuando se expresan en más de 60 cm. Poseen contenidos de arcilla superiores al 38% y son de estructura dura cuando secos. Estas características dificultan el almacenamiento de agua en el perfil y su posterior aprovechamiento, limitando el desarrollo radical.

En el oeste predominan suelos Hapludoles, con un drenaje interno moderado a rápido por falta de un B2t. Puede estar presente un horizonte B de poca expresión, de color claro y bajo contenido en arcillas. Son suelos franco arenosos, con estructura granular en A1 y variaciones en cuanto a espesor de horizontes y contenido de materia orgánica.

Clima

Húmedo a subhúmedo (E a O), con una media anual de 17°C y un periodo de 270 a 260 días libres de heladas, con una fecha límite probable para la última del 5 de septiembre. Las temperaturas medias históricas de los meses de verano son 22-23 °C para diciembre, 23-24 °C enero y 22°C febrero.

Lluvias

Los valores históricos de precipitaciones de la subregión han sido de 1050 mm anuales. Su distribución en los meses de verano presenta ligeras variantes con relación a periodos anteriores. Así en noviembre 95 mm; diciembre 115 mm; enero 137mm; febrero 135 mm. En los últimos años, la disminución de la superficie sembrada con maíz por sustitución con soja, se vio además agravada por la inestabilidad de los rendimientos entre campañas, principalmente por la aleatoriedad en la disponibilidad de lluvias en el período alrededor de la floración (Bert & Podestá, 2008). Una de las principales fuentes de variación climática interanual es el llamado fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation), comúnmente conocido como El Niño, que se refiere a cambios en la temperatura de la superficie del mar en la zona Este del Pacífico Ecuatorial. Estudios realizados en la región Pampeana argentina señalan que en los años Niño las precipitaciones tienden a ser superiores a lo normal, especialmente entre los meses de noviembre a enero, mientras que en los años Niña las lluvias tienden a ser inferiores a lo normal entre octubre y diciembre. Tal como se señaló anteriormente, estas variaciones cíclicas determinan a su vez cambios en los rendimientos para los principales cultivos de la zona pampeana. Los resultados de estimaciones del cambio en los rendimientos muestran

que en el caso del maíz existen probabilidades de incrementos de los rendimientos en años Niños y disminuciones en años Niñas (Golik *et al.*, 2014).

A esta limitante del rendimiento, se le suma la ocurrencia de distintos factores edáficos que conspiran contra una adecuada acumulación de agua en el perfil y la posibilidad de uso por la planta. Estos factores pueden resumirse en los siguientes:

- Presencia de horizonte Bt en la parte E y N de la zona.
- Profundidad de suelo arable
- Contenido en materia orgánica
- Piso de arado
- Pendiente y su relación con erosión hídrica laminar, escurrimiento superficial y aprovechamiento de las lluvias.
- Aptitud física
- Movimiento lento del agua
- Disponibilidad de nitratos

En sitios de menor productividad correspondientes a zonas bajas, con una capacidad de recarga a solo 1,4 m de profundidad, que limitan la disponibilidad a menos de 150mm, la fecha de siembra se ha diferido hacia el mes de diciembre (10-15 de diciembre), ello garantiza una disminución de la variabilidad interanual de rendimientos, al desplazar el periodo crítico al mes de febrero, momento en el que balance es menos limitante debido a que las temperaturas más bajas reducen la evapotranspiración de los cultivos (Boxler & Pozzi, 2014) y permiten el reemplazo de la soja y la obtención de una mayor renta con un maíz de siembra tardía. Entre las dificultades que aparecen con el retraso de la fecha de siembra podemos citar la humedad en grano. Tal dificultad puede ser atenuada con la elección de materiales de ciclo no tan largo y buen comportamiento de caña, para enfrentar enfermedades saprofitas que dañan la base y producen el vuelco (Boxler & Pozzi, 2014). También en estas zonas se comenzó a experimentar el maíz de segunda sobre diferentes antecesores (colza, cebada, trigo e incluso cultivos de cobertura desecados a principios de septiembre).

Técnicas correctivas

Las deficiencias enunciadas pueden ser parcial o totalmente corregidas por la aplicación de prácticas culturales. Su posibilidad de uso está supeditada a factores socioeconómicos.

- Rotaciones: Pasturas; leguminosas anuales.
- Abonos verdes: vicia, lupino, trébol rojo; avena.
- Barbecho; objetivos; oportunidad (época); efectos.
- Labranza conservacionista; siembra directa

Fecha de Siembra

Se inician 15 a 20 días después de la fecha promedio de la última helada. La mayor concentración está entre el 25-IX y el 10-X. Actualmente, como citamos, se realizan, en gran porcentaje, siembras tardías y siembras de segunda, no solo considerando a los sitios de menor productividad sino a la gran variabilidad climática presente los últimos años durante el periodo crítico del cultivo para las siembras convencionales. Cabe recordar que un maíz de segunda no es lo mismo que un maíz tardío, si bien se terminan sembrando en las mismas fechas detrás de un cultivo de invierno. El gran volumen de rastrojo después de un cultivo invernal inmoviliza fuertemente el N, lo que obliga a incorporar fertilizante en una dosis mayor.

Fertilización

En general se encuentra que los rendimientos máximos marcan una meseta en los 150-160 kg.ha⁻¹ de N inicial (NI) + N fertilizante (NF), dependiendo de las condiciones climáticas (Traverso, 2002). En cuanto a la fertilización fosforada, con niveles de fósforo en el suelo de 10-15 partes por millón (ppm) muchos planteos productivos están optando por reponer al suelo la extracción posible del cultivo (esto es 120-130 kg.ha⁻¹ de fosfato monoamónico), mientras que los restantes deciden aplicar por lo general una fertilización de base de 50-60 kg.ha⁻¹ (Traverso, 2002).

Por otra parte, cada vez son más las áreas en las que se obtienen respuestas económicas al agregado de azufre (10-15 kg.ha⁻¹).

Herbicidas

Bajo siembra directa comúnmente se realiza un barbecho químico con glifosato + atrazina (2 + 2 l.ha⁻¹). Durante preemergencia suele aplicarse atrazina y acetoclor. Los repasos por escape de gramíneas anuales son controlados satisfactoriamente con Challenger-Nisshin (nicosulfuron) (Traverso, 2002).

En la **zona Norte de Buenos Aires** las secuencias más habituales de rotación son: Trigo/soja- maíz; trigo/soja-maíz-soja y maíz-soja. El cultivo de maíz ocupa una importante superficie en la zona, totalizando un 25 % del área agrícola (Radriani & Bauschen, 2008; Ermacora, 2014). En los últimos años aparecieron planteos de siembra tardía y de segunda realizados sobre arveja, desplazando incluso a cultivos como el sorgo. La variabilidad del rendimiento del maíz en siembra tardía disminuye notablemente respecto al maíz en siembra convencional, debido a la mayor seguridad y cantidad de agua a la siembra, el aumento de las lluvias, tanto en frecuencia como en volumen y la disminución de la evapotranspiración durante el periodo crítico (Ermacora, 2014). Las densidades empleadas varían entre 65.000 y 80.000 plantas. ha⁻¹. En siembras tardías normalmente se disminuye la densidad a 63.000-68.000 plantas.ha⁻¹ para manejar una densidad acorde con la disponibilidad de recursos durante el periodo crítico (Ermacora, 2014).

Híbridos

Existe una tendencia al equilibrio entre ciclos largos e intermedios/cortos en cuanto a la superficie ocupada y una alta dispersión de materiales usados.

Fertilización

Se realizan aplicaciones en línea de fertilizantes fosforados, en dosis que varían de 70 a 100 kg.ha⁻¹ de producto comercial, en muchos casos sin considerar el análisis de fósforo del suelo. En cuanto a las fuentes, si bien el fosfato diamónico (PDA) es el más usado, ha ido creciendo la utilización del fosfato monoamónico (PMA), con las ventajas de este último producto de su menor costo por kilogramo de fósforo.

En siembra convencional se recomienda una dosis que varía entre 160 y 120 kg.ha⁻¹ de N, según el tipo de ambiente y para el caso de siembras tardías, las dosis recomendadas son de 90 a 130 a 90 kg.ha⁻¹ de N, teniendo en cuenta la mayor mineralización lograda hasta el momento de la siembra que pasa de 60 +/- 15 kg.ha⁻¹ a 100+/-25 kg.ha⁻¹, lo que implica una importante reducción de costos.

Control de malezas

En esta zona, el pasto cuaresma (*Digitaria sanguinalis*) constituye una de las malezas de control más difícil; problema que se vió agravado por la gran difusión de la siembra directa. Es bastante frecuente el uso de glifosato con atrazina para los barbechos químicos. En aplicaciones de preemergencia la mayor parte de los tratamientos son en base a atrazina (2-3 l.ha⁻¹) y acetoclor (1,5-2 l.ha⁻¹) o metolaclor (1-1,2 l.ha⁻¹). A veces suele utilizarse solo atrazina en dosis más altas (4 l.ha⁻¹) y sin graminícidas preemergentes, “especulando” con el control parcial de gramíneas anuales que hace esa droga, sumado a la limpieza de los lotes que surge del uso de sojas tolerantes a glifosato; aunque existe el riesgo de un escape de pasto cuaresma que resultaría de muy difícil control en estados posteriores.

Rendimientos

Los rindes medios de la zona se caracterizan por una alta variabilidad. A ello debe agregarse las variaciones climáticas entre años y entre zonas.

Subregiones circundantes de la subregión núcleo

Norte de la subregión núcleo

(Centro y Norte Provincia de Sta Fé, Provincia de Chaco y Provincia de Formosa)

El centro de Santa Fe posee suelos Argiudoles Típicos con 6% arena, 70% limo y 24% de arcilla. Se trata de suelos clase I y II, aptos para la agricultura, con limitaciones de régimen hídrico y donde se concentra la mayor actividad agrícola zonal (Pozzi, 2002).

Por su parte, la región Norte de Santa Fe posee suelos clase I, II y III con algunas limitaciones hídricas, con una lenta permeabilidad, con frecuentes encharcamientos en períodos húmedos y manchones de vegetación en épocas de sequías. Esta situación unida a la estructura deficiente favorecida por el alto contenido de limo, provoca un drenaje lento que limita el desarrollo de los cultivos (Pozzi, 2002).

Entre las gramíneas estivales se siembran maíz y sorgo granífero, dependiendo de los suelos y del régimen de lluvias, siendo ambos cultivos de interés creciente debido a los altos volúmenes de rastrojos aportados, los cuales contribuyen a mejorar el incremento del carbono orgánico del suelo

Rotación y cultivos antecesores

En ambas regiones (centro y norte de Santa Fé) se ha establecido la rotación trigo/soja de segunda- maíz-soja de primera, como una rotación adecuada y segura para la obtención de rindes estables. En términos generales, el uso de estas secuencias de cultivos aporta rastrojos abundantes, que aseguran buena disponibilidad de humedad y contenidos crecientes de materia orgánica al suelo, creando un ambiente edáfico que posibilita una rápida infiltración de agua, ya que genera macroporos y mesoporos de gran estabilidad.

Fertilización

Con el aumento de la superficie destinada a la agricultura en la región se han producido pérdidas notables de materia orgánica en el suelo y con ella disminuciones significativas de N y actualmente también de azufre, tanto que ya se están ajustando modelos zonales de fertilización combinada con estos elementos principalmente en ambas zonas.

En general, la disponibilidad de fósforo en estas regiones podría definirse como suficiente, aunque con el aumento de la agricultura y escasa reposición de este elemento, los contenidos del mismo han decaído notablemente en algunas áreas. En general, en el momento de la siembra se aplican dosis de 30 a 50 kg.ha⁻¹ de PDA, más un equivalente de Urea que no supere los 25 kilogramos en unidades de nitrógeno, a un costado y debajo de las semillas.

Siembra: sistema de labranza, fecha, control de malezas

Actualmente existe una gran adopción de la siembra directa, especialmente por su capacidad de acumular agua en el perfil durante los períodos de barbecho y al aumento en la capacidad de retención durante las etapas iniciales debido al efecto de cobertura de los rastrojos. González Montaner & Di Napoli (2014) citan incrementos de hasta 3000 kg.ha⁻¹ por cada tonelada de rastrojos acumulados a la siembra del maíz, debido fundamentalmente a los mayores contenidos de humedad, especialmente debajo del metro de profundidad.

La fecha de siembra tradicional, va desde el 20 de agosto hasta fines de septiembre, aunque en los últimos tiempos han adquirido relevancia las **siembras de segunda**, luego de la cosecha del cultivo de trigo, con niveles aceptables de rendimientos; en este caso debe

tenerse en cuenta que el N disponible a la siembra en general son bajos debido a la utilización de este elemento por el trigo, provocando un aumento en los costos de fertilización en relación a un maíz de primera y las **siembras tardías**, debido principalmente a los vaivenes climáticos, con siembras que se ubican hacia la segunda quincena de diciembre o mediados de enero como único cultivo de la campaña. Como contrapartida para estas dos últimas opciones de siembra, y en virtud de la época del año en que desarrollan su ciclo estos maíces, tanto el manejo de malezas como el de enfermedades requieren un tratamiento más exhaustivo. Otro problema frecuente es el ataque de plagas como las isocas cogolleras y barrenador del tallo, para lo cual las aplicaciones de insecticidas son bastante erráticas porque el sitio de infección suele ser de difícil acceso para los insecticidas, recomendándose el uso de híbridos Bt (Turchi & Moreno, 2014). También se utilizan en la región materiales RR, tolerantes a glifosato.

La fecha de siembra temprana, tradicionalmente, le permitía al productor ubicar e periodo crítico del cultivo antes de la ocurrencia de altas temperaturas y de la escasez de lluvias de enero, aunque limita la siembra del cultivo sólo a los lotes de clase óptima, dejándose los sitios subóptimos para la siembra de sorgo. En el presente la gran variabilidad en cuanto al régimen de lluvias ha modificado, como mencionamos, el esquema de siembra. El 90 % del maíz temprano se realiza sobre antecesor soja, principalmente de segunda. Más del 80 % se siembra a 52 cm entre hileras, siendo mucho menor el porcentaje de productores que lo hacen a 70 cm. Respecto a la densidad, para los materiales semiprecoces a completos los rangos varían entre 70.000 a 80.000 plantas.ha⁻¹. Existen materiales ultraprecoces (menos de 105 días de madurez relativa), para los cuales se utilizan 80.000 a 95.000 plantas.ha⁻¹.

Oeste de la subregión núcleo

(Noroeste Provincia de Buenos Aires, Este Provincia de San Luis y Centro Provincia de Córdoba)

Presenta características edafoclimáticas muy variadas, pero dado que muchas de las empresas tienen planteos mixtos, se siembra maíz para diversos usos. Debido a la variabilidad del ambiente, se detectan distintas áreas donde el maíz presenta diferentes historias. En zonas aledañas a Río Cuarto (Córdoba), el maíz era el principal cultivo y presentaba los rendimientos más altos de la región, situación que cambió drásticamente con la irrupción de la soja. Otra área maicera corresponde al sur de la provincia de Córdoba (alrededor de Laboulaye), llegando incluso al extremo noroeste de Buenos Aires. Finalmente, el sector oeste de la región (sur y este de la provincia de San Luis) son los que, a partir de la difusión de la siembra directa, empezaron a evaluar al maíz como una alternativa agrícola, además de ser un complemento de la ganadería (Estenssoro, 2002).

La distribución y cantidad de las precipitaciones en toda la región es uno de los factores que más inciden en los resultados del cultivo de maíz (el 99% de la superficie sembrada se realiza en secano). Las precipitaciones promedio son de 740 mm (disminuyendo del SE hacia

el NO). Su distribución es monzónica, con más del 80 % de las lluvias concentradas en los meses cálidos. La mayoría de los suelos de la región son de textura franco-arenosa, hacia el norte y el oeste poseen poca capacidad de retención hídrica y hacia el sudeste poseen problemas de drenaje (Thapto-árgicos) y napa freática cercana a la superficie, que según el año puede costituirse en una fuente de agua para los cultivos, o bien constituir una amenaza de anegamiento.

La implementación de la siembra directa permitió realizar un manejo eficiente del agua en el suelo, evitando la evaporación por laboreos y acumulando agua en el perfil, para de esta forma compensar la despareja distribución de las lluvias; también permitió un manejo racional del suelo, disminuyendo los problemas de erosión hídrica y eólica. La implementación de un manejo más eficiente de los recursos suelo-agua y la incorporación de un paquete tecnológico (genética, herbicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes) permitieron posicionar al maíz como una alternativa rentable y segura para esta zona productiva.

La siembra directa llevó también a implementar en algunas empresas planteos de agricultura permanente, donde el maíz juega un rol muy importante dentro de las rotaciones por la gran cantidad y calidad de rastrojo que aporta al sistema, generando una importante cobertura del suelo, mejorando la porosidad del suelo a través de su importante sistema radicular.

Cultivos antecesores

La soja es el cultivo más sembrado en la región, desplazando al girasol. Esta oleaginosa permite realizar barbechos prolongados y limpios, con una buena recarga de humedad en el perfil del suelo (con las abundantes lluvias de otoño), convirtiéndose en un buen antecesor para el maíz. Existen pocos casos de antecesor pradera (planteos de tambo) por la problemática de control de malezas que esto genera durante el cultivo, para lo cual se están incorporando materiales con tolerancia a herbicidas que incluyen a las imidazolinonas (On duty y Lightning) y los resistentes a glifosato.

Fecha de siembra y densidad

La generalización de la siembra directa, provocó que el inicio de las siembras se independizaran de las lluvias de primavera; y que se concentraran entre la segunda quincena de septiembre y la primera de octubre, con el objetivo de hacer coincidir el momento de mayores requerimientos de agua del cultivo con la mayor disponibilidad de la misma en el perfil. Además, las siembras tempranas junto con la elección de materiales resistentes son dos herramientas de manejo que se emplean para la prevención de ataques del “Mal de Río Cuarto”. Esta es una enfermedad de distribución errática y muestra una marcada diferencia de acuerdo a las características climáticas del año, la época de siembra, la zona y el material sembrado (Estenssoro, 2002). No se recomienda sembrar el maíz desde fines de octubre y durante todo noviembre ya que el riesgo del Mal de Río Cuarto aumenta considerablemente.

Sin embargo en las últimas campañas se registró un aumento de la proporción de cultivo sembrado en diciembre (Martini & Angeli, 2014) con el objetivo de aportar estabilidad de rendimiento la probabilidad de sembrar con el perfil cargado y ubicar el periodo crítico en un momento de menor evapotranspiración.

La densidad a la siembra varía de acuerdo a la disponibilidad hídrica y nutricional de cada lote; en planteos de máxima producción se apunta a 70.000-80.000 plantas.ha⁻¹, variando de acuerdo a las subregiones maiceras de la región. La reducción de la densidad de siembra es una herramienta que permite mitigar un estrés hídrico en momentos críticos del cultivo y adecuar la cantidad de plantas en los ambientes más restrictivos del oeste (10.000 plantas.ha⁻¹ menos) y en los lotes sembrados en fechas de siembra tardía (10% de reducción), al ser la expectativa de potencial de rendimiento inferior y el logro de plantas por semillas utilizadas mayor.

Híbridos

En la elección del material se debe considerar: la tolerancia al Mal de Río Cuarto y a enfermedades foliares; rusticidad (considerar que la región es un área con altas temperaturas y con un régimen de precipitaciones irregular y que la combinación de ambos aspectos puede producir situaciones de estrés hídrico y térmico, altura de inserción de la espiga, fortaleza de caña y buen anclaje radicular, potencial de rendimiento en función de las cualidades del lote y del planteo de fertilización. Durante las últimas campañas los materiales más sembrados en la zona fueron de ciclo intermedio, con tolerancia a imidazolinonas o a glifosato en el 85 % de los casos y la totalidad con genética modificada para el control de plagas de lepidópteros (MG, VT3Pro, HX) (Martini & Angeli, 2014).

Fertilización

Prácticamente la totalidad de los lotes se fertilizan con una dosis promedio de 60 kg N.ha⁻¹. En el 30 % de los casos la aplicación se realiza dividida (60 % a la siembra y el resto en V4-V6). Para ajustar la dosis de N se realiza el muestreo de nitratos de 0 a 60 cm previo a la siembra, que se ajusta a un contenido de N total que va de 130 a 160 kg N.ha⁻¹ (suelo+fertilizante). Respecto al fósforo, la mayor parte de los lotes de maíz se fertilizan con una dosis promedio de 18 kg P.ha⁻¹ como fosfato diamónico y monoamónico. El azufre se aplica a la siembra junto con el arrancador, o bien en la refertilización en mezcla con UAN, con una dosis promedio de 12 kg S.ha⁻¹.

Manejo de malezas

En la mayoría de los casos (en planteos de siembra directa) el control de las malezas se inicia con los barbechos químicos sobre una base de glifosato (el 70 % de la superficie sembrada con maíz RR), pudiéndose agregar atrazina. En la siembra, ante casos complicados de malezas, se repite la misma mezcla, pudiéndose agregar (de acuerdo a la

cobertura del lote) acetoclor para el control de gramíneas anuales. Ante el “escape” de gramíneas anuales o de sorgo de Alepo, se puede recurrir a una aplicación temprana de nicosulfurón en mezcla con atrazina; además, es muy importante el agregado de aceite para eficientizar el control. En los últimos años la aparición de focos de malezas de difícil control (*Conyza* sp., *Oenothera* sp., *Borreria* sp., *Gomphrena* sp., *Parietaria* sp., etc) o tolerantes a glifosato (sorgo de Alepo, yuyo colorado, gramón) han planteado la búsqueda de otras estrategias para frenar su avance como la rotación de cultivos y la utilización de grupos de herbicidas de diferentes mecanismos de acción y principios activos (Martini & Angeli, 2014).

Plagas y enfermedades

Las principales plagas del cultivo son el barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*), la isoca de la espiga (*Helicoverpa* spp.) y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) que se controlan prácticamente en la mayoría de los casos mediante la utilización de híbridos genéticamente modificados (Bt). Otras plagas que requieren mayor atención desde la emergencia hasta V2-V3, como las orugas cortadoras (*Agrostis* spp, *Porosagrostis* spp) y chinche de los cuernos (*Dichelops furcatus*) se controlan con terápicos de semillas y aplicaciones de insecticidas específicos.

La principal enfermedad la constituye el Mal de Rio IV, los principales mecanismos de defensa contra esta virosis son el uso de híbridos tolerantes y el escape por fecha de siembra. El mayor daño sobre el cultivo ocurre cuando la chicharrita (*Delphacodes kuscheli*) ataca a las plantas en los estadios iniciales (desde coleoptile hasta dos hojas). El mayor escape a esta enfermedad se obtiene con siembras que no van más allá del 15 de octubre, cuando el insecto vector aún se alimenta de cultivos invernales, o en fechas posteriores al 10 de diciembre, momento en el que el virus pierde actividad por las altas temperaturas. Otras enfermedades frecuentes en la región, principalmente en siembras tardías, son roya (*Puccinia sorghi*) y tizón de la hoja (*Exserohilum turcicum*), que desarrollan sobre las hojas afectando la capacidad fotosintética. El manejo de enfermedades se realiza mediante híbridos tolerantes y la aplicación de fungicidas (triazoles, estrubirulinas, carboxamidas) entre V10 y R1.

Sudoeste de la región núcleo

Abarca tres sectores

Oeste de Buenos Aires

Para la zona Oeste (General Villegas, Ameghino, General Pinto, Lincoln, Carlos Tejedor, Pehuajó, Carlos Casares, 9 de Julio, Bolívar, Henderson, Daireaux y Trenque Lauquen), el cultivo de maíz representa para las empresas de la zona cerca del 35% de la facturación de las actividades agrícolas.

Los tipos de suelo varían entre francos a franco arenosos profundos en casi toda la región y Thapto en el área central de la región (Lincoln, General Pinto, Ameghino y Carlos Tejedor).

Los suelos con presencia de horizontes Thaptos poseen lenta permeabilidad y presentan excesos hídricos temporales. A su vez, en condiciones de escasas precipitaciones y debido a la presencia de materiales altamente cementantes, el horizonte Thapto impide el normal desarrollo radicular y el movimiento ascendente de agua hacia el estrato superior del suelo. Por lo tanto la conjunción de características de suelo y del clima no sólo determina distintos umbrales de producción, sino que también le otorga distinta seguridad de producción al cultivo de maíz (Capelle & Bosch, 2002).

Rotaciones

En la actualidad se observa el reemplazo del cultivo de girasol por la soja, convirtiendo a la leguminosa en el antecesor más frecuente del maíz. Los lotes bien manejados de soja aseguran la limpieza de malezas perennes (gramón y sorgo de Alepo), además de cortar el ciclo de las gramíneas anuales (*Digitaria* sp). Por otra parte, la soja ha permitido la instrumentación de barbechos largos y limpios, siendo su escaso rastrojo la principal desventaja.

También se ha producido un alargamiento de los ciclos agrícolas, apoyado por un incremento de los planteos en siembra directa. En la actualidad coexisten en la zona distintas secuencias de cultivos según los planteos y la aptitud productiva de los lotes dentro de un mismo campo; siendo la secuencia trigo- soja-maíz-soja de primera o bien trigo/soja-maíz la mas frecuente (Míguez, 2014). Se observa un incremento de los rindes a medida que aumentan los días de barbecho hasta los 80 días; a partir de ese lapso, los rindes tienden a estabilizarse. Debe considerarse que 80 días antes del 25 de septiembre (fecha promedio de siembra) corresponde a la fecha del 7 de julio, por lo cual la probabilidad de acumular lluvias es muy baja; la temperatura en esa fecha es la más baja del año, por ende el proceso de mineralización es casi nulo.

Por otra parte, es importante el avance de la siembra directa en superficie frente a las restantes formas de labranza. El 70% de los lotes se siembra a un distanciamiento de 52 cm. La densidad óptima, en función de la fecha de siembra, del ambiente varía entre 40.000 y 80.000 plantas.ha⁻¹ (Míguez, 2014).

Fecha de siembra

Las épocas de siembra más adecuadas se ubican entre el 20 de septiembre y el 10 de octubre, lo que otorga una mayor seguridad de ocurrencia de precipitaciones en el período crítico del cultivo (+/- 15 días floración).

El principal riesgo de las fechas muy tempranas es que el período que media entre la germinación y la emergencia se hace muy prolongado, quedando expuesta la semilla al ataque de hongos y luego las plántulas al ataque de insectos; esta situación se agrava en el caso de siembra directa. También debe considerarse que siembras tempranas son más predisponentes a ser afectadas por heladas tardías, que pueden llegar a afectar severamente el stand de plantas, obligando a la resiembra del lote. En siembra directa normalmente la temperatura del suelo resulta 2-3°C menor que bajo labranza convencional;

por esto es necesario tomar las precauciones necesarias, si se siembra temprano, para evitar tener problemas en la emergencia. Algunas de estas medidas son: usar semillas de buena calidad, tamaño, PG y vigor y el uso de fungicidas e insecticidas curasemilla.

El retiro de las napas y la variabilidad en el régimen de las lluvias registrada en los últimos años incrementaron en forma notable las siembras en fechas tardías, entre el 25 de noviembre y el 5 de diciembre (Míguez, 2014). Las siembras tardías de noviembre en general cuentan con un menor potencial de rendimiento, además de mayores dificultades de cosecha por la alta humedad del otoño y la mayor susceptibilidad al vuelco (como efecto secundario de una mayor exposición a *Diatraea*). Ello ha sido solucionado en gran parte con el uso de híbridos transgénicos con resistencia a insectos (Bt).

Fertilización

En general, en la región los cultivos se fertilizan con N con el objetivo de tener entre 90 y 160 kg N.ha⁻¹ a la siembra, dependiendo del potencial del lote. No obstante, la decisión de la dosis por aplicar debe considerar la realización de un análisis de suelo (0-60 cm) para determinar su oferta, además de tener en cuenta los años de agricultura del lote, cultivo antecesor, pH del suelo, % materia orgánica y la duración del barbecho. En los suelos con presencia de Thaptos, con menor profundidad de exploración radicular, la respuesta a la fertilización está fuertemente asociada a las lluvias durante el período crítico del maíz; en esos casos la estrategia consiste en fertilizar con P a la siembra y analizar los factores de respuesta a la aplicación de N en función de la humedad disponible y los pronósticos climáticos. En general se utiliza urea y en menor magnitud fuentes líquidas como el UAN. La aplicación se hace en la mayoría de los casos en los estadios V3-V4 para que el nutriente esté disponible a partir de la sexta hoja; además, se evita aplicar a la siembra por los riesgos de lavado con las lluvias de octubre. Para evitar el riesgo de volatilización es conveniente incorporar el fertilizante en el entresurco. En el caso del maíz tardío, el valor del N objetivo es un 15-20 % menor respecto del sembrado en fechas convencionales (Míguez, 2014).

Los niveles de fósforo son variables: de 6-8 ppm hacia el norte y el este de la región a 18-25 ppm hacia el sur y el oeste. Normalmente se aplican 70-120 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico a la siembra, principalmente como arrancador en los planteos en siembra directa.

Control de malezas

Los barbechos químicos se realizan con mezclas de Glifosato, 2,4D y atrazina, buscando llegar con los lotes limpios a la siembra. Luego se trabaja principalmente con mezclas de atrazina y metolaclor o bien acetoclor en preemergencia. Dentro de las gramíneas anuales el principal problema es *Digitaria* y si no es manejada en los cultivos previos, posteriormente se vuelve muy difícil su control. De todas maneras, cuando se presenta una población de esta maleza, el mejor control en preemergencia se logra con metolaclor. También se utilizan híbridos resistentes a Imidazolinonas y su posterior control con los herbicidas específicos (el

único adecuado para cuaresma es la mezcla imazapic + imazapir), con mejores resultados que las aplicaciones de los graminicidas postemergentes tradicionales (como nicosulfurón). Existe, al mismo tiempo, un alto porcentaje de superficie sembrada con maíz RR, aunque en los últimos años han aparecido focos de malezas de difícil control como rama negra, oenothera, gomphrena, parietaria, borreria o bien tolerantes a glifosato como: sorgo de Alepo, yuyo colorado, gramón. Para evitar agravar esta situación se recomiendan prácticas de manejo como la rotación de cultivos, para cortar el ciclo de las malezas y la utilización de herbicidas con diferentes principios activos y diferente modo de acción.

Híbridos

En la zona, durante las últimas campañas se registró un aumento de la superficie de los híbridos de ciclo intermedio. El acortamiento de ciclos utilizados no ha provocado una caída de rendimientos y permitió diversificar riesgos al poder ubicar las fechas de floración y de llenado de grano en distintos momentos. También en algunos casos generó un ahorro de secada y se logró cosechar antes de las lluvias de otoño. Se ha incrementado notablemente la adopción de eventos biotecnológicos, para el control de malezas (RR, CL) y para el control de insectos (MG, VT3Pro, HX). Además del potencial de rendimiento y la estabilidad de rinde (buena adaptación ante situaciones de estrés); la tolerancia o resistencia a enfermedades (Mal de Río Cuarto) e insectos (*Diatraea*), y buenas características del cultivar, como por ejemplo buena caña, rápido secado, entre otros factores han adquirido gran relevancia, especialmente en siembras tardías. Los híbridos Bt constituyen una tecnología que se adopta entre el 60% y el 90% de la superficie sembrada, según los años.

Densidad de siembra

Se elige en función del híbrido, fecha de siembra, fertilización y de las condiciones particulares de cada lote. En términos generales, la tendencia es aumentar las poblaciones por hectárea para cada situación de manejo. En la mayoría de los casos se apunta a lograr 65.000-70.000 plantas.ha⁻¹ a cosecha.

Región Semiárida

La región Semiárida está distribuida en las provincias de La Pampa, San Luis y en los partidos bonaerenses de Puán y Bahía Blanca. La principal actividad es la ganadería, especialmente la cría, que ocupa el grueso del área; el maíz se cultiva como verdeo de verano o como doble propósito.

Las precipitaciones van de 450 a 600 mm anuales, distribuidas en su mayor parte entre los meses de octubre y marzo. Los suelos van desde franco-arenosos en la mayor parte del área a franco-limosos en el sudeste pampeano y las áreas de la provincia de Buenos Aires; la presencia de tosca se encuentra a una profundidad de alrededor de los 70 centímetros y en algunos casos se observa también en superficie. Los suelos tienen entre 1,5% y 2,5% de

materia orgánica. Los niveles de fósforo en general son muy bajos (menores a 10 ppm) (Gallo Candolo, 2002).

Los rindes obtenidos varían entre 2500 y 3000 kg.ha⁻¹. Y en los casos superiores se ubican en 3700-4000 kilos por hectárea (híbridos, fertilizantes y fechas tempranas de siembra ayudan a mejorar los promedios).

Labranzas y rotaciones

La mayor parte del cultivo se hace bajo siembra directa; con verdeos de invierno, pasturas de alfalfa o campos naturales como antecesores. En la zona de Guatraché (La Pampa) se empezaron a sembrar maíces sobre soja, cultivo que se empezó a extender en los últimos cuatro años. La alfalfa no se adapta bien a muchos suelos de la región debido a la presencia de tosca, por lo que el maíz es utilizado como verdeo de verano para las categorías de invernada, ya que las vacas en ese momento pastorean sobre los pastos llorones; se utiliza para novillos, vaquillonas de engorde y de reposición. También el maíz se siembra como doble propósito: en años en los cuales la alfalfa produce poco se pastorean las superficies necesarias; en caso contrario el grueso del maíz se cosecha como grano (Gallo Candolo, 2002).

Fecha de siembra y densidad

Para maíz doble propósito, la fecha de siembra va desde octubre hasta principios de noviembre (en la zona son habituales las heladas tardías), aunque se sigue sembrando en los meses de noviembre y diciembre, pero con mayor expectativa de verdeo que de cosecha. Para estos casos se utilizan semillas económicas y de uso forrajero. En los últimos años se empezaron a sembrar híbridos. No se cultiva en suelos que tengan menos de 50 centímetros de perfil. La densidad varía 50.000 y 60.000 plantas por hectárea, dependiendo de la calidad del suelo. Debido a que la mayoría de los lotes provienen de verdeos de invierno, que dejan poca cobertura y se encuentran muy pisoteados se debe calcular un 30-40% de pérdida de semilla (Gallo Candolo, 2002).

Fertilización

Se fertiliza generalmente con 30 a 40 Kg.ha⁻¹ de PDA o PMA. El efecto de este arrancador es muy importante para una zona fría como la Semiárida, sobre todo pensando que el grueso se hace en siembra directa. En algunos casos, especialmente cuando se utilizan híbridos, se completa la fertilización con nitrógeno en los estadios V6-V7.

Control de malezas

Se utiliza atrazina en preemergencia, muchas veces en mezcla con acetoclor y se completa con 2,4D en V3-V5, sobre todo en los destinados a pastoreo.

Región Sudoeste

La zona presenta tres limitantes fundamentales para la producción de maíz: deficiencia hídrica durante la estación de crecimiento, un periodo libre de heladas acotado y suelos limitados en profundidad o textura. Estos tres factores resienten la disponibilidad de agua del cultivo, especialmente en las etapas clave para la generación del rendimiento. Debido a los elevados déficits hídricos de verano, en la zona (Benito Juárez) se encuentra más difundido el cultivo de girasol, que ocupa el 60% del área de gruesa que el maíz, y además en los últimos años ha aumentado el área de soja, que ocupa actualmente alrededor del 20%. De todas maneras, dentro de los ambientes de mayor potencial de producción, el maíz ocupa un lugar importante; en los campos que están en la zona más húmeda de la región (hacia el norte de Sierra de la Ventana, con 700-900 mm) y que tienen suelos profundos, el maíz ocupa el 30% del área destinada a cosecha gruesa. En los ambientes con mayores limitaciones hídricas (por la presencia de tosca superficial), los rendimientos son mucho más aleatorios. En estos casos se trata de establecimientos mixtos, donde el maíz aporta buen rastrojo para los rodeos de cría o bien se usan sus granos para los planteos de invernada (Giorno, 2014; Guyot & Alberdi, 2002).

Rotaciones

De acuerdo a la capacidad del lote, se destina a agricultura continua o bien a rotaciones con pastura. En general, el cultivo de maíz ocupa los primeros años de la rotación para aprovechar la fertilidad natural que dejan las praderas luego del ciclo ganadero. Los barbechos deben ser largos y limpios para acumular agua, por ello el trigo es el antecesor más frecuente, seguido por verdeos de invierno (cuyo último pastoreo se realiza a mediados o fines de agosto). También suele utilizarse como antecesor la soja de primera y de segunda.

Labranzas

En general se hace siembra directa. Se busca mantener el barbecho limpio desde el verano u otoño anterior.

Fecha de siembra

Debido al escaso periodo libre de heladas, el margen de variación de las fechas de siembra es escaso, sin embargo, puede resultar útil en la medida en que permita escapar de las condiciones de estrés frecuentes en diciembre y enero. En estos dos meses transcurre la totalidad del periodo crítico del maíz, si se recurre a maíces sembrados desde principios de octubre hasta mediados de noviembre. La única manera de escapar a ese problema es realizar siembras de fines de noviembre, ubicando el 80% del periodo crítico en febrero. De esta forma se logra disminuir la demanda hídrica en un 20 %. El atraso de la fecha de siembra (22 al 31/11) ha permitido obtener resultados superiores dando cuenta de un balance hídrico más acotado. La limitante que presenta este sistema es la posible ocurrencia de heladas tempranas (Giorno, 2014).

Control de malezas

En siembra directa los controles para barbecho comienzan en febrero para impedir que semillen gramíneas anuales de difícil control en preemergencia (como *Setaria* sp. y pasto cuaresma). Se usa en todos los casos glifosato en dosis de entre 1,8 y 5 l.ha⁻¹, según antecesor y malezas presentes y a fin de julio/agosto se vuelve a usar glifosato, pero en este caso mezclado con 2,4D o con media dosis de atrazina. En preemergencia se usa atrazina en dosis entera o en media dosis, que se mezcla por lo general con acetoclor o bien con s-metalocloro (Dual) debido a que este último tiene un mejor comportamiento en lotes con alta cobertura de rastrojo en superficie. En postemergencia sólo se realizan controles de hoja ancha, principalmente de enredadera perenne, usándose en los últimos años fluroxypyr (Starane) con buenos resultados. De todos modos los híbridos resistentes a herbicidas actualmene son muy utilizados, en estos casos lo mas frecuente es realizar aplicaciones de herbicidas posemergentes como Lighting, On duty o glifosato y aveces acetoclor en preemergencia para demorar la aplicación del producto posemergente.

Híbridos

En general se utilizan materiales intermedios a cortos, puesto que los otoños suelen ser muy húmedos y el uso de materiales muy largos podrían complicar la cosecha por falta de piso. Además, como en general los lotes de maíz van a trigo, la entrega muy tardía del lote complica la siembra en fecha de este cereal. En cambio, los materiales cortos sembrados a principios de octubre, en general se cosechan entre fines de marzo y abril, permitiendo una siembra de trigo sin problemas (Guyot & Alberdi, 2002).

Fertilización

Debido a que la zona presenta bajos niveles de P, para el maíz, tanto bajo labaranza convencional como en directa, alrededor del 76% de los lotes son fertilizados con fosfato diamónico o monoamonico con una dosis variable entre 80 y 110 kg.ha⁻¹.

En cambio, el uso de Urea es mucho más limitado ya que la principal limitante productiva se da por la falta de lluvias en floración y no por la falta de nitrógeno. No obstante la fertilización nitrogenada se realiza con un objetivo de disponibilidad de 120 a 170 kg.ha⁻¹. El desarrollo de nuevos sistemas de producción (bajas densidades, siembras tardías y maíz bajo riego) generó la necesidad de analizar las respuestas de cada uno de ellos (Giorno, 2014).

Actalmente se realizan en la zona ensayos de respesta a la aplicación de azufre.

Este de la subregión núcleo

(Entre Ríos)

Esta zona coincide geográficamente con la provincia de Entre Ríos. Los suelos agrícolas más comunes son los Vertisoles con altos contenidos de arcilla desde su horizonte

superficial. Existen también en toda la región, pero con mayor frecuencia en el sudoeste de la misma, Argiudoles de mayor aptitud. Un factor limitante para la agricultura de la zona es la baja disponibilidad de agua útil en sus perfiles, especialmente en los Vertisoles. Existen diferencias en los potenciales de rendimiento entre los Vertisoles y los Argiudoles; dentro de los Argiudoles estas variaciones también existen de acuerdo a los contenidos de arcilla de los mismos. Estas diferencias se reducen en años con buena disponibilidad hídrica y se incrementan en años con mayores limitaciones, tanto durante el cultivo como durante el período de barbecho (Bernardo, 2002).

Fecha de siembra

Las temperaturas media y máxima de noviembre son 20,7°C y 26,8°C, respectivamente, esto hace conveniente ubicar el período crítico del maíz a fines de noviembre/principios de diciembre, aumentando la posibilidad de estrés hídrico a medida que se retrasan las fechas de siembra. Las siembras desde mediados de agosto son posibles en la región por la temperatura del suelo y permiten mejores condiciones climáticas para el cultivo en el período crítico. Sin embargo, también se incrementa el riesgo de daño por heladas tardías, las que ocasionalmente llegan a ocurrir hasta principio de octubre. Estas siembras tempranas se pueden extender hasta el 20- 30 de septiembre. En los últimos años los nuevos materiales permiten reducir la densidad de plantas a 61.000-65.000 plantas.ha⁻¹ para aumentar el piso de rendimiento en años secos, sin resignar rinde en años con buenas precipitaciones.

Probablemente el cambio más importante en los últimos años haya sido la incorporación del maíz tardío a rotaciones agrícolas. La incorporación del maíz tardío vuelve los planteos más flexibles, permitiendo sembrar desde el 5 de diciembre hasta el 5 de enero, procurando retrasar el periodo crítico respecto del mes de enero (García Frugoni, 2014). En maíz tardío se utilizan densidades 5% inferiores que en maíz temprano volviéndose crucial la siembra de híbridos con resistencia a lepidópteros como a tizón.

Antecedentes y labranzas

El antecesor más frecuente en la región es la soja de primera, ocupando más de la mitad de la superficie; le sigue en importancia la soja de segunda, concentrada en el sur de la región (donde se realiza el cultivo de trigo). Las siembras sobre soja de primera permiten, generalmente, llegar a la siembra con los perfiles bien provistos de agua, situación que se vuelve más aleatoria sobre soja de segunda; este factor tiene una mayor importancia en los suelos Vertisoles que en los Argiudoles.

La mayor parte de las siembras se realiza bajo siembra directa utilizándose labranzas con discos solamente en los casos que los lotes vengan de arroz o de desmonte o por situaciones de lotes muy "huelleados" durante la cosecha de soja; esto generalmente ocurre cuando la soja abre la rotación desde arroz o desmonte, en siembra convencional y con grupos de maduración de ciclos largos y fechas de siembra tardía (Bernardo, 2002).

Híbridos

En general, los productores buscan mayores rendimientos en las mejores zonas y mayor estabilidad en los ambientes de menor potencial. Los materiales sembrados en la región son mayoritariamente híbridos simples y de ciclo completo, mientras que los híbridos de ciclo intermedio cuentan con una participación menor. Los eventos genéticos más utilizados son la resistencia a insectos (MG), principalmente en las últimas fechas de siembra y en los planteos con riego complementario. Los materiales resistentes a imidazolinonas (IMI) también han incrementado su participación, especialmente en lotes con gramón o con alta infestación de malezas gramíneas; esta última situación es frecuente en lotes con historia arrocería reciente.

Fertilización

Para la fertilización nitrogenada, lo más usual es la aplicación de urea o de mezclas a la siembra. Cuando el cultivo está en V4-V6 se fertiliza con UAN. Existe una tendencia creciente a definir la fertilización nitrogenada a partir del diagnóstico de nitratos disponibles a la siembra. Los trabajos realizados permiten estimar respuestas hasta niveles de nitrógeno disponible a la siembra (N del suelo + N fertilizante) del orden de los 120 a 160 kg.ha⁻¹; la expectativa es que sólo en muy pocos años habría respuesta a valores superiores de nitrógeno.

La fertilización fosforada presenta respuestas muy notorias a dosis de 50 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e incremento de la respuesta a fósforo en lotes con menos de 6 ppm de P. En lotes con 10 ppm de fósforo habría que explorar más profundamente la respuesta a incrementos de la fertilización de 30 a 50 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. En general se apunta a lograr entre 15 y 17 ppm (P Bray + P fertilizante).

En las siembras tardías los valores por alcanzar son levemente menores a los del maíz temprano (10%). En cualquier caso la disponibilidad de N al momento de la siembra suele ser muy superior a la del maíz temprano, lo que resulta en una menor necesidad de N agregado.

Región sudeste de la región núcleo

Comprende dos sectores:

Sector sudeste

Abarca desde el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Mar del Tuyú, Maipú, Ayacucho, Rauch, Castelli, Belgrano): *subzona sur*, hasta el centro-norte de la misma: *subzona norte* (Lezama, Río Salado, Tapalqué, Arroyo de Las Flores, 25 de Mayo y Roque Pérez-Saladillo).

Se trata de una región básicamente ganadera, en la cual el maíz siempre tuvo su importancia por el uso como forraje. No obstante en los últimos años la agricultura creció a partir de la difusión de la siembra directa.

En la *subzona norte* el clima es templado con presencia de lluvias durante todo el año y con una media anual de 950 mm, aunque en los últimos años ha aumentado un poco; la temperatura media anual es de 15,3°C, siendo el mes más cálido enero con una media de

22,2°C y el más frío junio con 8,9°C. Los suelos donde se hace agricultura son francos y franco arenosos (Garré, 2002).

Anteceso

Los anteceso

Sistema de labranza

En los últimos años la siembra directa ha crecido en gran medida, lo que provocó un aumento en la superficie sembrada sobre suelos que antes no se destinaban a la actividad agrícola.

Barbechos

Los barbechos se mantienen limpios por lo menos durante 60 a 90 días, mediante la aplicación de glifosato con hormonales y atrazina si es necesario. El uso de herbicidas residuales permite llegar limpios a la siembra y en muchos casos no es necesario el glifosato en presiembra, sobre todo si en el cultivo se usan herbicidas del grupo de las imidazolinonas; de esta forma se llega a la siembra con buena humedad y una mayor dotación de nitratos.

Híbridos

Se emplean diferentes estrategias según subzonas y ambientes. En la subzona norte se siembran materiales de ciclo intermedio a largo (116 a 121 días de madurez relativa). En la subzona sur es generalizado el uso de híbridos semiprecoces a intermedios (114-118 días de madurez relativa). En general en ambas subzonas se ha incrementado la utilización de maíces IMI o CL y Bt.

Fecha de siembra y densidad

La subzona norte, concentra la fecha de siembra entre el 10 de septiembre hasta el 10 de octubre. Las siembras muy tempranas en esta subzona incrementan fuertemente el riesgo de sufrir daños por heladas tardías. En la subzona sur la siembra se demora al 15-30 de octubre.

Los maíces de fecha de siembra tardía se siembran desde el 11 de noviembre hasta 20 de diciembre y aportan estabilidad a la rotación, ya que se comportan muy bien en años Niña. En forma general, estos maíces tienen una disminución de un 10% del rendimiento en todos los ambientes comparado a los maíces de primera (Rey, 2014).

Con fechas de siembra temprana, se busca un stand de 70.000 plantas.ha⁻¹; en las fechas tardías la población disminuye aproximadamente un 10 %. Los híbridos acusan diferencias solo en los ambientes de mayor potencial, los cuales promedian los 1000 kg.ha⁻¹ (Rey, 2014).

Control de malezas e insectos

El maíz se siembra en lotes en los cuales se ha controlado el gramón y que tienen poco sorgo de Alepo y cebollín. El manejo habitual se realiza con atrazina y acetoclor; además se emplea protector preemergente. Últimamente se están obteniendo buenos resultados en lotes no tan limpios con mezclas de imidazolinonas (On duty) que tienen que usarse con híbridos resistentes. Con respecto a *Diatraea*, se usan materiales Bt.

Fertilización

Los suelos de la región son deficientes en fósforo disponible y por lo tanto la fertilización fosforada se realiza en forma frecuente. En la actualidad, la estrategia es que la suma de lo disponible en el suelo (0-20 cm), más lo incorporado con el fertilizante, sea superior a 18- 22 ppm. El fertilizante se incorpora en la siembra; se utiliza fosfato diamónico y monoamónico y otras fuentes de fósforo de liberación más progresiva, como la roca fosfórica.

Respecto a la fertilización nitrogenada, la idea es alcanzar los 140-150 kg N.ha⁻¹ (suelo a la siembra + fertilizante). El fertilizante se incorpora aplicaciones de azufre, magnesio y potasio en caso de Urea y se aplica chorreado en el caso del UAN. Por otra parte, se están evaluando

Sector mar y sierras

Se diferencian tres subzonas agroecológicas. Sin embargo, más allá de las características de cada subzona, el rasgo principal de los suelos de la región Mar y Sierras es la presencia de tosca a distintas profundidades. Este aspecto define por sí solo la posibilidad de realizar cultivos rentables de maíz en la zona (Calviño, 2002).

La primera de ella es la *subzona Serrana*, que comprende los partidos bonaerenses de Balcarce, Tandil y Azul, con regímenes hídricos de 800 a 1000 mm anuales y suelos con 5% a 7% de materia orgánica en los primeros 20 cm y con una alta proporción de los mismos con tosca o roca a profundidades variables y pendientes que oscilan entre 2% y 6%, que generan serios riesgos de erosión (Calviño, 2002).

La *segunda subzona es la de Necochea*. Comprende los partidos de Otamendi, Necochea y Lobería. Los regímenes hídricos son similares a la Serrana hacia el norte de esta subzona y disminuyen hacia el oeste y sur. El contenido de materia orgánica varía entre 4% y 6%, con problemas de pendientes mayores al 3% en ambientes circundantes a Mar del Plata y Balcarce y pequeñas "áreas bordes" de río en Necochea. Alta proporción de los partidos de Necochea y Lobería presentan tosca a profundidades variables, que afecta severamente la acumulación de agua en el perfil de suelo.

La *tercera subzona es la de Tres Arroyos*, abarca los partidos de San Cayetano, Gonzáles Chaves y Tres Arroyos. Esta área presenta menores precipitaciones que las anteriores (600-900 mm anuales) y una alta proporción de suelos con tosca a profundidades que limitan el desarrollo de los cultivos.

Los rendimientos son para la subzona Serrana oscilan en 6750 kg.ha⁻¹ con el 55 % de la superficie ocupada por maíz, para Necochea son de 6150 kg.ha⁻¹ con el 25% de la superficie y Tres Arroyos son de 5760 kg.ha⁻¹ (rendimiento del maíz tradicional) con el 21% de la superficie.

Rotaciones y sistema de labranza

Si bien la secuencia de cultivos dentro de la rotación es distinta entre las tres subzonas, el cultivo antecesor principal del maíz suele ser el trigo y en segundo lugar la soja de segunda. El porcentaje de maíz que se realiza bajo siembra directa varía por región. En Loberías Grandes y Tandil, la totalidad del maíz se realiza bajo siembra directa. Si bien el cultivo de maíz no es el más importante en la zona, es normal que se le asignen los mejores lotes agrícolas.

Híbridos y fecha de siembra

En la elección de los híbridos se buscan genotipos adecuados según el ambiente. En lotes bajos y sin limitaciones de tosca se emplean materiales de alto potencial, destinándose los materiales que aportan estabilidad a ambientes de peores condiciones.

Se debe prestar atención a la calidad de la semilla, especialmente la que se emplea en siembra directa, debido a que la cobertura de rastrojos mantiene el suelo más frío, por lo que es importante lograr una germinación y emergencia rápida y uniforme.

A su vez, debido a que la zona que presenta otoños muy fríos y húmedos, que provocan un lento secado del grano, desde hace años se buscó materiales de ciclo corto con una rápida madurez y secado. En la selección de los ciclos adecuados se han descartado materiales por presentar susceptibilidad al Mal de Río IV, o bien por presentar distintos problemas, como caña débil o bien problemas de calidad de granos en otoños húmedos. Por estos motivos, los productores suelen trabajar con materiales de ciclos más largos que los deseados (Calviño, 2002).

Actualmente se ha logrado reducir la densidad de siembra (de 80.000 a 50.000 plantas.ha⁻¹) a partir de la mayor plasticidad de rendimiento de la nueva genética (González Montaner & Di Napoli, 2014). Esto confirió al sistema mayor estabilidad de rendimientos y una reducción de costos en ambientes con limitaciones, a la vez que mantuvo elevados rindes en ambientes hídricos poco limitados. Los atrasos en la fecha de siembra de octubre a noviembre demostraron ser una herramienta válida para maximizar rendimientos en años en que las lluvias de enero son inferiores a las esperadas, a condición de respetar ciclos con una madurez relativa no superior a 120 días. A su vez, mediante la utilización de genética de mayor rendimiento por planta con baja densidad, mayor tolerancia al estrés y fechas de siembra variable, el desarrollo experimental se orienta a ampliar el área de siembra del cultivo hacia ambientes con limitaciones moderadas en profundidad de suelo (González Montaner & Di Napoli, 2014).

Fertilización

En general los suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires son deficitarios en fósforo. Los valores de fósforo disponible más comunes varían entre 4 y 15 ppm en los primeros 20 cm de suelo. Por tal motivo, todos los lotes de maíz se fertilizan con dosis que varían entre 80 y 110 kg.ha⁻¹ en el momento de la siembra de DAP, dependiendo de los análisis de suelo.

La fertilización nitrogenada se realiza con el objetivo de lograr una disponibilidad (suelo + fertilizante) de 130-170 kg.ha⁻¹. No obstante, la experimentación zonal desarrollada en los últimos años, muestran que el retorno máximo varía según el potencial de rendimiento de las subzonas. Para las subzonas Serrana y Necochea, el máximo retorno esperado se logra con modelos de 175-200 N, con un rango de rinde máximo entre 80 y 120 qq.ha⁻¹. En Tres Arroyos el modelo más rentable fue con 150 N y rindes máximos entre 60 y 100 qq.ha⁻¹.

Control de malezas

El control se inicia en el barbecho. Si el antecesor es trigo se realizan controles tempranos con glifosato + 2,4 D o Banvel. Cuando el antecesor es soja, el control puede incluir un tratamiento con glifosato previo a la cosecha para reducir la población de malezas perennes o la elevada densidad de malezas anuales. En el barbecho también se pueden incluir sulfonilureas. El control de malezas invernales instaladas se realiza a partir de agosto incorporando atrazina, además de glifosato + 2,4 D o Banvel. También se utilizan híbridos RR.

Si no hay malezas presentes a la siembra del cultivo, se hacen tratamientos preemergentes de atrazina + acetoclor o metalaclor. En caso de haber malezas en el mismo, se empea glifosato + acetoclor o metalaclor + atrazina. Con híbridos no RR, los escapes de malezas en V3-V4 se controlan con Equip WG o Callisto, para gramíneas, o 2,4D, Dicamba o Picloram, para latifoliadas.

Región del NOA (Provincias de Tucumán, Salta Y Jujuy)

Desde el punto de vista productivo, la región del NOA abarca las provincias de Catamarca, Tucumán, Salta, Jujuy y la mitad Oeste de Santiago del Estero. Dentro de esta región, la posición en el relieve de diferentes zonas determina la existencia de sistemas productivos con características y destinos totalmente distintos.

Características ecológicas

Los suelos de esta región varían de acuerdo al material original y al proceso de formación, con textura predominantemente franco limosa y franco arenosa fina y estructura granular y fina en el horizonte superficial. Esto es importante al momento de entender el comportamiento de los sistemas productivos del NOA, ya que no sólo sus suelos tienen una estructura débil, sino que el material original de los mismos y el clima no presentan factores de estructuración suficientemente fuertes. El contenido de Materia

Orgánica varía entre 1 y 2,5 %. Desde el punto de vista de la fertilidad química un aspecto relevante en los suelos que tienen una larga historia de cultivo de soja es el bajo contenido de fósforo, el que llega en algunos casos a ser inferior a 2 ppm.

El clima es subtropical con estación seca. El régimen de precipitaciones de la región es monzónico, presentando un pico de lluvias en los meses estivales con un porcentaje del 87 al 88 % del total anual. Las precipitaciones promedio de la región varían entre 550 y 900 mm con la distribución mensual que se muestra en la Tabla 8.1. Las temperaturas promedio mensual se muestran en la Tabla 8.2.

Tabla 8.1. Distribución de la precipitación media mensual para dos zonas extremas en la región NOA

Meses	Precipitación media mensual (mm)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zona seca	120	100	95	30	10	5	5	1	15	30	60	100
Zona húmeda	260	140	120	50	25	15	10	5	20	30	60	120

Tabla 8.2. Distribución de la temperatura media mensual de dos zonas extremas de la región del NOA

Meses	Temperaturas promedio mensual (°C)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zona seca	25	25	22	19	16	13	12	13	18	21	23	24
Zona húmeda	28	26	24	21	18	15	15	16	20	22	25	28

El período medio libre de heladas varía entre 305 a 330 días, presentándose una fecha media de primera helada entre el 12 al 25 de Junio y la fecha media de última helada entre el 10 y el 12 de Agosto.

Con estas condiciones de suelo y clima, los cultivos de granos en secano dominantes son soja, maíz y poroto (Alubia, Negro y de otros colores). Entre los cultivos extensivos, el maíz ocupa el segundo lugar en orden de importancia, detrás de la soja. (Rossi, 2014).

Sistemas de producción agrícola

Los cultivos se desarrollan exclusivamente durante la estación húmeda mencionada (Tabla 8.1) aprovechando la concentración de lluvias en esta época del año. En el caso particular del maíz, si bien existen condiciones térmicas para su siembra casi durante todo el año, normalmente se debe esperar hasta el mes de Diciembre para disponer de suficiente acumulación de agua y de nutrientes disponibles en el perfil como para comenzar con la siembra. El maíz cumple con la característica de ser casi la única gramínea de desarrollo estival ofreciendo posibilidades de rotar cultivos en esta zona. La

necesidad de rotación está basada en diferentes aspectos, como el sanitario y el de intentar dar estabilidad al sistema de producción de agricultura continua, aunque, esto tiene un costo en lo referido al valor de la renta y de su estabilidad anual que no todos los productores están dispuestos a pagar. Por otro lado, la inclusión del maíz en la secuencia favorece el uso de herbicidas que poseen diferentes modos de acción, lo que resulta fundamental para evitar el desarrollo de malezas resistentes o tolerantes. Estas características le otorgan sustentabilidad económica al sistema.

El periodo de siembra de maíz comienza a principios de diciembre en la subregión sur y termina a mediados de febrero en la subregión norte. Las densidades van desde las 40.000 plantas.ha⁻¹ hasta las 60.000 plantas.ha⁻¹.

En cuanto a la genética en los últimos años se ha producido una importante introducción de materiales tropicales, templados o mezclas, diversificados en ciclo que favorecen su adaptación a los diferentes modelos productivos. Se emplean híbridos tropicales con resistencia a lepidópteros Y también variedades tolerantes a diferentes herbicidas (glifosato y glufosinato de amonio). Respecto a la fertilización se realiza principalmente la aplicación de fósforo ya que la aplicación de N presenta una respuesta con gran variabilidad.

Bibliografía

- Bernaudo, G. (2002). *Región Litoral Sur*. Revista CREA Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N° 65:118-153.
- Bert F. & Podestá G. (2008). *Variabilidad Climática y toma de decisiones en el cultivo de maíz*. Revista CREA. Producción de maíz. 87-94.
- Boxler M. & Pozzi R. (2014). *Región Sur de Santa Fé*. Revista CREA Maíz Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Calviño P. (2002). *Región Centro*. Revista CREA Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N° 65:118-153.
- Capelle N. & Bosch M. (2002). *Región Oeste*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 132-137.
- Ermacora M. (2014). *Región Norte de Buenos Aires*. Maíz Técnicas probadas para una producción rentable. Revista CREA. 63-93.
- Estenssoro M. (2002). *Región Centro*. Revista CREA Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N°65: 118-153.
- Gallo Candolo E. (2002). *Región Semiárida*. Revista CREA Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N°65: 118-153.
- García Frugoni, F. (2014). *Región Litoral Sur*. Revista CREA Maíz Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Garré A. (2002). *Región Sudeste*. Revista CREA Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N°65: 118-153.

- Giorno A. (2014). *Región Sudoeste*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Golik S.I., Chamorro A.M., Bezus R. & Pellegrini A. (2014). *Variabilidad climática en el área de La Plata, Buenos Aires y su efecto sobre el cultivo de maíz*. Reunión binacional Argentina-Uruguay y XV Reunión Argentina de Agrometeorología, nuestro aporte a una producción agropecuaria sustentable: UniRío Editora (Río Cuarto, Argentina). Piriápolis, Uruguay. 51-52.
- González Montaner J. & Di Napoli M. (2014). *Región Mar y Sierras*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Guyot F., Alberdi J.I. (2002). *Región Centro*. Revista CREA Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N°65: 118-153.
- Intagro. (2015). Disponible en: http://www.intagro.com/mapas/arg_maiz.asp. Último acceso: Junio 2015.
- Martini, G. & Angeli, A. (2014). *Región Centro*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Miguez M. (2014). *Región Oeste*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 72-74.
- Pozzi R. (2002). *Regiones Norte y Centro de Santa Fé*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 145-149.
- Radrizani J. & BauschenB. (2008). *Región Norte de Buenos Aires*. Revista CREA. Producción de maíz. 101-103.
- Rey M. (2014). *Región Sudeste*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Rossi D.E. (2014). *Región NOA*, Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Traverso G. (2002). *Región Sur de Santa Fé*. Revista CREA Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N°65: 118-153.
- Turchi D. & Moreno M. (2014). *Región Santa Fé Centro*. Revista CREA Maíz, Técnicas probadas para una producción rentable. 77-79.

CAPÍTULO 9

Maíz: Usos y comercialización

María Rosa Simón, Guillermo Sebastián Gerard

Introducción

La mayor parte de la producción mundial de maíz se utiliza para la alimentación animal como grano, forraje ensilado o forraje verde. Su destino puede ser para ganado bovino para elaboración de carne y leche, como también para la producción de aves para la obtención de carne y huevo y la producción de cerdos. También se utiliza para la molienda seca y húmeda y en la industria del bioetanol.

En Argentina, de una producción de grano promedio de 23,8 millones de toneladas en las campañas 2010/11, 2011/12 y 2012/13, en el año 2013 se demandaron 8,1 millones de toneladas para uso interno, exportándose el resto sin procesamiento o guardándose como stocks. El uso para alimentación animal fue de 78%, con un uso de 3 millones de t para aves, 2,6 millones t para el sector bovino y alrededor de 700 mil t para el sector porcino. El uso industrial representó el 22% del total, utilizándose 1 millón de t en la molienda húmeda y aproximadamente 800 mil t; entre la molienda seca y la producción de bioetanol a base de maíz, que se repartieron tal cantidad en partes similares (Garzón *et al.*, 2014) (Fig.9.1).

Buenos Aires destina el maíz principalmente a la alimentación de aves y bovinos; Córdoba al sector bovino, seguido por el bioetanol; Santa Fe, a la actividad bovina y Entre Ríos a la avícola. En tanto que en Tucumán, San Luis y Córdoba, el uso industrial supera al uso para la alimentación animal, representado en las dos primeras, principalmente por la molienda húmeda y en Córdoba por las plantas de obtención de bioetanol y de molienda húmeda (Garzón *et al.*, 2014).

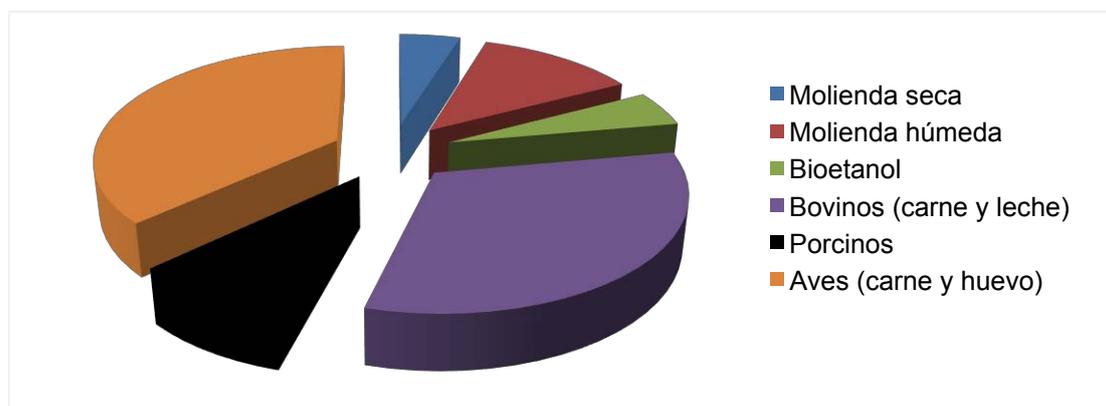


Figura 9.1. Usos de maíz en Argentina. Adaptado de Garzón *et al.* (2014)

Entre los tipos de maíz que se utilizan en mayor proporción en Argentina para la producción de granos, sin considerar los hortícolas se encuentran:

- La cruce entre maíces duros y dentados (tipo semidentado) que reúnen características agronómicas favorables de los dos tipos de los que proviene la cruce.
- El maíz tipo duro, liso o “*flint*” corresponde a nuestros maíces tradicionales e incluyen al maíz plata que es requerido especialmente por la industria de la molienda seca, por su dureza, peso específico y alta proteína. Es el maíz que típicamente se utilizaba para la producción de polenta y en la actualidad también para la fabricación de cereales para desayuno y alimento para animales (Gear, 2006). Los granos tienen una alta proporción de endosperma córneo y una parte harinosa rodeando al embrión, terminan en una corona redondeada y resisten mejor el maltrato de las operaciones de cosecha, traslado y almacenaje, tienen bajo contenido de almidón y alto de proteína. En general son menos dañados por insectos y hongos. El color de los granos puede ser: blanco, amarillo, naranja o colorado. El maíz liso blanco es usado en baja proporción como alimento humano directo, como maíz quebrado y algo en harina para polenta. Los maíces *flint* se cultivan especialmente en Argentina y Brasil, aunque su proporción es baja. También en el sudeste de Europa, donde se introdujeron los maíces precoces del nordeste de Estados Unidos y son de color amarillo.
- El maíz tipo dentado, son característicos del cinturón maicero de Estados Unidos “*corn belt*”, se destaca el dentado amarillo. Son utilizados por la industria de molienda húmeda. El endosperma se caracteriza por poseer una parte central harinosa y los laterales córneos, tiene una alta proporción de almidón y baja proteína, por esta razón en el periodo de madurez fisiológica a comercial al perder humedad el grano, se produce una hendidura en la corona, lo que da una apariencia de dientes. La textura del grano es blanda y de bajo peso específico. Tiene una alta tendencia al quebrado durante la cosecha, transporte y almacenaje, lo cual facilita el ataque de insectos y hongos. El dentado se utiliza para la molienda húmeda y para alimento del ganado, aunque también interviene en algunos productos para consumo humano en baja proporción. Los granos son de color amarillo y/o blanco, siendo preferido este último para alimento humano por su almidón más blanco. Son característicos de la producción de Estados Unidos, México, Europa y Sudáfrica.
- Los tipos reventones, pisingallo, palomero, pororó o “*pop-corn*” son maíces con endosperma vítreo en su mayor proporción, con una pequeña proporción de harinoso, en un pericarpio denso y resistente. Con el calor se expande y forma la típica palomita de maíz. Son los más primitivos usados por los indígenas. Se distinguen dos tipos, de grano más pequeño terminado en una punta (denominado arrocillo por su parecido al arroz) que corresponde a la subespecie *Z. m. everta* L. y el de corona redondeada, grano más grande

(denominado perla) que corresponde a la subespecie *Z. m. microsperma* L. El principal mercado consumidor es Estados Unidos, luego Brasil. En nuestro país se ha comenzado a impulsar su consumo.

- Los tipos harinosos corresponden a un grupo numeroso de razas que se localizan tanto en la zona de altura del NOA (cuyos tipos característicos son los Capias) como en las zonas bajas del NOA y NEA (donde se destaca la raza Abatí Morotí). El endosperma de estos maíces es casi enteramente harinoso, pueden tener una pequeña capa córnea rodeando el embrión. Son muy utilizados para su consumo fresco (choclo) y en la elaboración de diversas comidas tradicionales basadas en harina de maíz (Gear, 2006). Es uno de los maíces más antiguos que utilizaban los Aztecas, Incas, Guaraníes, no tiene prácticamente endosperma vítreo, presentándose como un grano opaco. Los indígenas usaban su grano blando para producir harina. Su cultivo se desarrolló solo en aquellas comunidades cuya alimentación dependía en gran parte del maíz; norte y nordeste de nuestro país, Paraguay, Colombia, Venezuela y México.

Adicionalmente, se encuentran también los maíces especiales. En Argentina fundamentalmente el *flint* y el pisingallo se consideran como tales, dada su producción baja en relación al semidentado. Otros maíces especiales se mencionan a continuación, entre ellos en Argentina se han obtenido híbridos de “alto valor” y “waxy”.

- El maíz MAV (Maíz Alto Valor) es una nueva especialidad que viene produciéndose desde hace varios años en la Argentina. Son maíces con mayor valor nutritivo, determinado por una mayor concentración de aceite (incrementos del 100%) y un incremento del 20% en la concentración de proteína, que le permite aumentar el contenido de aminoácidos esenciales (Gear, 2006).
- Maíces con alto contenido en lisina: El maíz tiene niveles bajos de aminoácidos esenciales (lisina y triptofano), aunque hay genes (opaco 2 han sido los más utilizados) que pueden actuar limitando la síntesis de la zeína e incrementando el nivel de ambos aminoácidos. El grano que lleva el gen opaco 2, tiene el endosperma blando y no deja pasar la luz, fenómeno que ha servido para su denominación. En Argentina se han obtenido maíces transgénicos con alto contenido en lisina con la incorporación de un gen de *Corynebacterium glutamicum* que codifica una enzima que determina una mayor acumulación de lisina.

Los maíces “waxy”: Se denomina así a un tipo especial de maíz derivado de una mutación (wx=waxy) introducida desde China a Estados Unidos en 1908, aunque luego se pudo encontrar en muchas líneas dentadas americanas. Su nombre deriva de la apariencia cerosa del endosperma en un corte longitudinal del grano. El almidón común del grano de maíz está compuesto aproximadamente por 73% de amilopectina (estructura molecular ramificada) y 27% de amilosa (estructura molecular lineal), mientras que en el waxy el almidón es 100% amilopectina. El almidón del maíz común se tiñe de azul con una solución

al 2% de ioduro de potasio, en cambio la amilopectina del *waxy* se tiñe de un color rojizo oscuro; de esta forma es muy fácil seguir el gen en los programas de mejoramiento. El almidón *waxy* ocupa una muy buena posición en la molienda húmeda en Estados Unidos, Canadá, Europa, etc., para la industria y usos alimenticios. Este almidón modificado es vendido en todo el mundo debido a su estabilidad y otras características. Los productos hechos de maíz *waxy* son usados por la industria de la alimentación como estabilizadores para budines, aderezo de ensaladas, salsas, etc. Otros productos *waxy* son usados para pastas precocidas, en la manufactura de goma de mascar, en adhesivos en la industria del papel y para la protección de fibras en la industria textil. Normalmente se produce por contrato para industrias o exportadores que requieren esta calidad (Schroeder *et al.*, 1998). Se han comenzado a obtener algunos de estos materiales en Argentina. La molienda del maíz que abarca un 22% de la producción de maíz, puede ser húmeda o seca, de ellas se obtienen numerosos sub-productos.

Molienda húmeda

Se pueden utilizar todos los tipos de maíz, pero dada su mayor disponibilidad se emplean casi exclusivamente dentados y semidentados, que además se adaptan bien (Alvarez, 2006).

Esta molienda se diferencia de la seca por el macerado que produce alteraciones físicas y químicas en la naturaleza de los constituyentes básicos del endosperma: almidón, proteína y material de la pared celular. Provoca la disociación completa del contenido de las células con la liberación de los granos de almidón de la red proteica en la que están incluidos. Comprende los siguientes pasos:

Limpieza

En el caso que hubiera sido necesario secar el grano, es importante que la temperatura no haya superado los 55°C, ya que temperaturas superiores tienden a dificultar la liberación de los gránulos del almidón y la separación del germen por flotación. El proceso de limpieza es similar en ambas moliendas.

Maceración o remojo

El maíz limpio se macera en tanques con agua y dióxido de azufre durante 24-48 h a 50°C. El grano se ablanda y se facilita la separación de cáscaras, germen y fibra y la desintegración de la matriz proteica. El dióxido de azufre tiene también un efecto esterilizante que impide el crecimiento de microorganismos en el líquido.

Luego del remojo, se drena el agua que contiene las sustancias solubles removidas del grano, se concentra y destina a la producción de balanceados y se realiza un proceso de desodorización.

Degerminado

El maíz remojado, que tiene ahora aproximadamente 45% de humedad y está totalmente ablandado, se tritura groseramente para separar con hidrociclones la fracción más liviana que es el germen, de las cáscaras y endosperma. El germen se lava, seca y se destina a la obtención de aceite.

Molienda

El material remanente es almidón, proteína y cáscaras; se tritura en molinos de impacto tipo "Entoleter" y se pasa por cribas que permiten separar al almidón y la proteína de la fibra (de mayor tamaño), que se destina también a la fabricación de balanceados.

Separación de almidón y proteínas

La mezcla restante se concentra y las proteínas son separadas en centrífugas de alta velocidad por su menor peso específico. Este concentrado proteico se conoce comúnmente como "gluten de maíz" y en un 50% está constituido por la zeína, proteína soluble en alcohol que tiene distintas aplicaciones industriales y farmacéuticas. El almidón se lava, purifica y destina a diferentes procesos. Por un lado se puede secar y obtener almidón, dextrosas, maltosas y dextrinas y por el otro se puede someter a hidrólisis enzimática, conversión enzimática, deshidratado, cristalización y otras transformaciones, que originan los distintos productos de uso industrial como son los jarabes de glucosa, de fructosa, etc.

Productos

Los usos de los subproductos que se obtienen son múltiples, por un lado los almidones se pueden utilizar en usos industriales como abrasivos, papeles, talcos, plásticos, lubricantes, gomas, fósforos, detergentes, tizas, fibras de vidrio, pinturas, industria textil y del cuero, velas como así también en usos alimenticios, medicinales y de perfumería como antibióticos, alimentos para bebé, productos de panadería, aderezos, cosméticos, jabones, etc.

Los jarabes tienen usos industriales para colorantes, tintas, industria textil y alimenticios como panadería, salsas, pescado congelado, gomas de mascar, alimentos para bebés, gaseosas, licores, alimentos para desayuno, aderezos y también preparados farmacéuticos, endulzantes de bajas calorías, alimentos deshidratados, etc.

El gluten se utiliza en forrajes como "*gluten feed*" y "*gluten meal*", azúcares, aminoácidos. El germen se utiliza para aceites, aderezos, salsas, usos farmacéuticos, jabones, industria textil, en insecticidas y pinturas y finalmente la dextrosa se usa en procesos de fermentación, industria del cuero y papel, para jugos cítricos, aromatizantes, gelatinas, vinagres y vinos, congelados y enlatados, productos farmacéuticos, ácidos y solventes orgánicos. También se obtiene etanol para alcoholes industriales, bebidas alcohólicas y combustibles.

A nivel mundial la producción de biocombustibles como el etanol, se difunde rápidamente, siendo Estados Unidos el mayor productor, en América del Sur el principal productor es Brasil y en Asia es China. También se está incentivando en la Unión Europea. En Argentina, la

producción de bioetanol se ha incrementado, incentivada por la Ley 26.093 de biocombustibles. En base a resoluciones de la Secretaría de Energía de la Nación, once empresas, de las que restan nueve, recibieron cupo para corte de naftas con bioetanol a base de maíz. De ellas, en 2014 ya se encontraban en funcionamiento cinco: Bio 4 (Córdoba), Vicentín (Santa Fe), Pro Maíz (Córdoba), ACA (Córdoba) y Diaser (San Luis). En 2010 el corte logrado fue muy bajo, inferior al 2%; en 2011 fue del 2,4%, en 2012 del 3,2%, en 2013 del 5,2%. En 2014 y considerando también a la caña de azúcar de la que se obtiene etanol, se superó con creces el corte obligatorio de naftas del 5% vigente (Garzón *et al.*, 2014).

Molienda seca

Se prefieren los maíces duros tipo *flint*. Su finalidad es la obtención de sémolas con la menor contaminación posible de grasas provenientes del germen y partes de las cubiertas. Se busca que el endosperma rinda una alta proporción de sémolas y baja de harinas y recuperar la mayor cantidad de aceite. La secuencia de operaciones (Álvarez, 2006) es la siguiente:

Limpieza

Tiene como objetivo separar granos de otros cereales, hojas, piedras, metales, partículas pulverulentas. Un circuito normal de limpieza suele tener separadores magnéticos para partículas metálicas, cribadoras para impurezas de diferente tamaño, cepilladoras, aspiradoras, mesas vibratorias para materiales de distinto peso específico, lavadoras para eliminar las impurezas que flotan y secador.

Acondicionamiento o remojado

Busca facilitar la separación del germen y salvado del endosperma para mejorar el rendimiento en sémolas. Se puede realizar mediante la adición de agua fría o caliente o de vapor de agua y un reposo de una o dos horas.

Degerminado

Este proceso rompe el grano para separar el germen y dejar el endosperma molido en trozos grandes. Se puede realizar mediante distintos procedimientos tales como los rodillos de trituración, los degerminadores “tipo Beall” por fricción o las máquinas de impacto como el “Entoleter”. Se consigue la fractura del grano y el desprendimiento del germen y el salvado (cáscara). En cada uno de ellos hay un posterior proceso de separación y clasificación de fracciones que según el método empleado, pueden necesitar del secado y refrigeración. El producto seco se tamiza para obtener fracciones de distinto tamaño de partículas y de endosperma puro o combinado.

Molienda o refinación

Se realiza a través de distintos pasajes por rodillos e incluye una posterior clasificación del producido. El sistema tiene similitudes con la parte de rotura de la molienda de trigo, sólo que en el de maíz es más extenso para mejorar la separación de la gran cantidad de germen presente.

Productos

Los productos acabados, trozos de endosperma, sémolas, semolines y harinas, se desecan a 12-14% en secaderos de tubos de vapor rotatorios. Se emplean en forma directa en la preparación de alimentos. Así los trozos de endosperma, se utilizan en copos, laminados y otras formas de cereales para desayuno o excipientes para diferentes productos. Las sémolas pueden utilizarse en forma indirecta en industrias tales como la cervecera o para expandidos (“*snacks*”) o polenta y también sémolas enriquecidas con vitaminas y minerales. Como utilización no alimentaria, se pueden emplear en la fabricación de engrudos, ceras para piso y artículos de perfumería. Las harinas (menor granulometría) pueden utilizarse para harinas para galletitas, pastas, alimentos balanceados, etc. El germen se destina a la extracción de aceite por presión o con procedimientos combinados físicos y químicos para su uso en la industria alimenticia o como adición para alimentos de altas calorías. El salvado (cáscara) se utiliza para la elaboración de galletitas, “*snacks*” y otros.

Comercialización de maíz

La comercialización de maíz en Argentina se rige por la norma XII, 1075/94 de la SAGyP, 1994 (actual MAGyP).

NORMA DE COMERCIALIZACIÓN DEL MAÍZ XII. RESOLUCIÓN SAGyP N° 1075/94

1.- Se entiende por maíz, a los efectos de la presente reglamentación, a los granos de *Zea mays* (L).

2.- TIPOS:

Regirán los siguientes tipos comerciales:

2.1. Tipo Duro: Se clasificarán en este tipo todos aquellos maíces cuyos granos sean de naturaleza córnea, predominantemente vítrea (más de la mitad de la constitución de su endosperma) (Fig. 9.2 A y B).

2.2. Tipo Dentado: Se clasificarán en este tipo todos aquellos maíces cuyos granos sean de naturaleza almidonosa (la mitad o más de la constitución de su endosperma) y presenten una hendidura pronunciada en la corona.

3.- COLOR:

Los maíces se clasificarán de acuerdo a su color en la siguiente forma:

3.1. Maíces colorados (Fig. 9.2.A).

3.2. Maíces amarillos (Fig. 9.2.B y Fig. 9.3.B).

3.3. Maíces blancos (Fig. 9.3.A).

4.- Para los tipos y colores precedentes se establece un estándar integrado por TRES (3) grados con las siguientes especificaciones



Figura 9.2. A. Grano tipo colorado duro. B. Grano tipo amarillo duro. Adaptado de la Bolsa de Comercio de Rosario

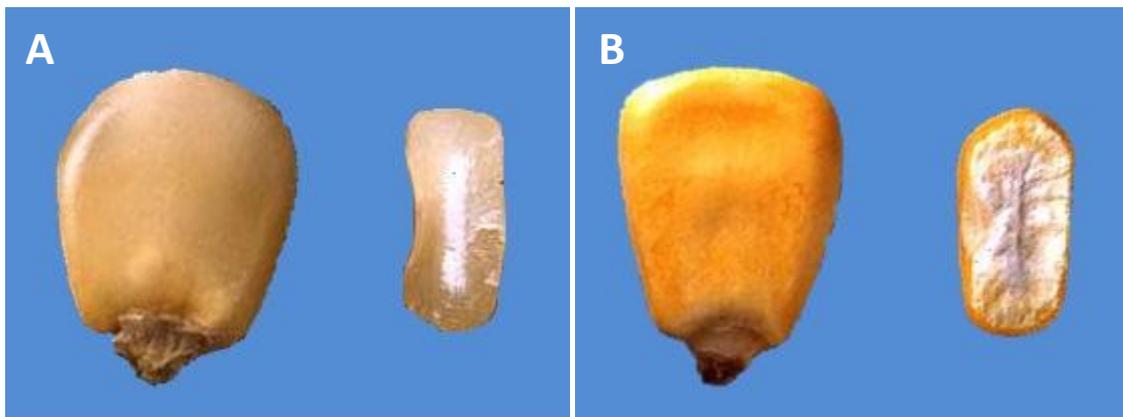


Figura 9.3. A. Grano tipo blanco duro. B. Grano tipo amarillo dentado. Adaptado de la Bolsa de Comercio de Rosario

CUADRO TOLERANCIAS MÁXIMAS PARA CADA GRADO
TOLERANCIAS MÁXIMAS PARA CADA GRADO

GRADO	P.H. (kg/hl)	Granos Dañados %	Granos Quebrados %	Materias Extrañas %
1	75	3	2	1
2	72	5	3	1,5
3	69	8	5	2

5.- FUERA DE ESTÁNDAR:

La mercadería que exceda las tolerancias del Grado TRES (3) o que exceda las siguientes especificaciones será considerada fuera de estándar:

5.1. Humedad: CATORCE COMA CINCO POR CIENTO (14,5%).

5.2. Picados: TRES POR CIENTO (3%).

5.3. Insectos y/o arácnidos vivos: Libre.

5.4. Color: CINCO POR CIENTO (5%).

5.5. Tipo: Los maíces duros y dentados admitirán recíprocamente una tolerancia del CINCO POR CIENTO (5%) de un tipo dentro del otro.

5.6. Chamico (*Datura ferox*): DOS (2) semillas cada CIEN (100) gramos.

5.7. Asimismo, aquel maíz que presente olores comercialmente objetables, granos amohosados, aquel tratado con productos que alteren su condición natural, o que por cualquier otra causa sea de calidad inferior, también será considerado fuera de estándar.

6.- Dentro del tipo y color contratado el comprador está obligado a recibir mercadería de cualquiera de los TRES (3) grados.

7.- DEFINICIÓN DE LOS RUBROS DE CALIDAD Y CONDICIÓN:

7.1. RUBROS DE CALIDAD DETERMINANTES DEL GRADO

7.1.1. Peso hectolítrico: Es el peso de un volumen de CIEN (100) litros de maíz tal cual, expresado en kg/hl.

7.1.2. Granos dañados: Son aquellos granos o pedazos de granos de maíz que presenten una alteración sustancial en su constitución. Se considerarán como tales los granos:

7.1.2.1. Brotados: Son aquellos en los que se ha iniciado visiblemente el proceso de germinación. Tal hecho se manifiesta por una ruptura de la cubierta del germen, a través de la cual asoma el brote (Fig. 9.4.A).



Figura 9.4. A. Granos brotados. B. Granos podridos

7.1.2.2. Fermentados: Comprende todo grano o pedazo de grano que presente una alteración en su color, como consecuencia de fermentaciones, sin llegar a la descomposición total del mismo.

7.1.2.3. Podridos: Comprende todo grano o pedazo de grano que presente una intensa alteración en su color como consecuencia de un estado más avanzado del fermentado, y en muchos casos con ruptura de su pericarpio (Fig. 9.4.B).

7.1.2.4. Calcinados: Comprende todo grano o pedazo de grano que ha variado su color natural a blanco opaco y que muestra en su interior color y aspecto yesoso (Fig. 9.5.A).

7.1.2.5. Con verdín: Comprende todo grano o pedazo de grano que presente manchas verdosas o azuladas en el escutelo, producidas por la acción de hongos (Fig. 9.5.B).

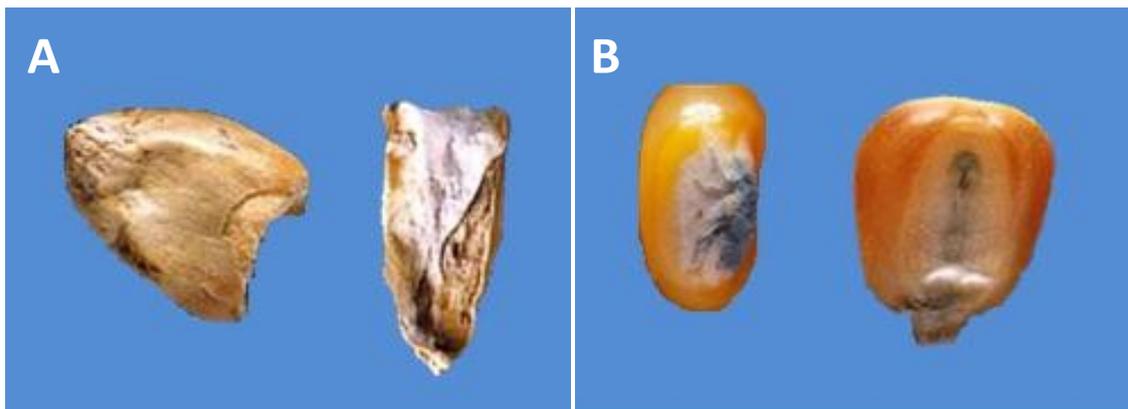


Figura 9.5. **A.** Granos calcinados. **B.** Grano con verdín. Adaptado de la Bolsa de Comercio de Rosario

7.1.3. Materias extrañas: Son aquellos granos o pedazos de granos que no sean de maíz y toda otra materia inerte.

7.1.4. Granos quebrados: Son aquellos pedazos de granos de maíz que pasen por una zaranda como la descrita en el punto 9.5. de la presente NORMA (Fig. 9.6.A).



Figura 9.6. **A.** Granos quebrados. **B.** Granos picados por gorgojo (*Sitophilus* spp.).
Fuente: Clemson University (2003)

7.2. RUBROS DE CONDICIÓN EXCLUYENTES DEL GRADO

7.2.1. Insectos y/o arácnidos vivos: Son aquellos que atacan a los granos almacenados (gorgojos, carcomas, etc.) (Fig. 9.6.B).

7.2.2. Granos picados: Son aquellos que presentan perforaciones causadas por el ataque de insectos (Fig. 9.6.B).

7.2.3. Olores comercialmente objetables: Son aquellos que por su intensidad y persistencia afectan su normal utilización.

7.2.4. Productos que alteran la condición natural del grano: Son aquellos que resultan tóxicos o perniciosos y que impiden su normal utilización.

7.2.5. Amohosados: Se considera como tal a todo lote que presente una elevada proporción de granos que llevan moho adherido en la mayor parte de su superficie (Fig. 9.A).



Figura 9.7. A. Granos amohosados. B. Semillas de chamico (*Datura ferox*). Fuente: Duncan (2007) y Samanek (2007) respectivamente

7.2.6. Humedad: Es el contenido de agua, expresado en por ciento al décimo sobre muestra tal cual.

7.2.7. Color.

7.2.8. Tipo.

7.2.9. Chamico: Semillas de la especie *Datura ferox* (Fig. 9.7.B).

8.- MECÁNICA OPERATIVA PARA EL RECIBO DE LA MERCADERÍA: A fin de evaluar la calidad de la mercadería de cada entrega se extraerá UNA (1) muestra representativa de acuerdo al procedimiento establecido por la NORMA XXII (Muestreo en granos) o la que en el futuro la reemplace. Una vez extraída la muestra, se procederá en forma correlativa a efectuar las siguientes determinaciones:

8.1. Presencia de insectos y/o arácnidos vivos: Se determinará por simple apreciación visual mediante el uso de una zaranda apropiada para tal fin. La presencia de UN (1) insecto y/o arácnido vivo o más en la muestra determinará el rechazo de la mercadería.

8.2. Olores comercialmente objetables, productos que alteran la condición natural del grano y otras causas de calidad inferior: Se determinarán por métodos empíricos sensoriales.

8.3. Tipo, color, granos picados y semillas de chamico: Su determinación se realizará por simple apreciación visual. En caso de necesidad de cuantificar (para mercadería cercana al límite de tolerancia), se procederá sobre CINCUENTA (50) gramos por duplicado.

8.4. Amohosados: Se determinará apreciando visualmente la proporción e intensidad de estos caracteres que afectan al lote en su conjunto.

8.5. Humedad: Se determinará de acuerdo con el procedimiento establecido en la NORMA XXVI (Metodologías varias), o la que en el futuro la reemplace.

8.6. Calidad: Sin perjuicio del análisis que oportunamente deberá realizarse, se determinará por visteo en forma provisoria, a los efectos del recibo, si la mercadería se encuentra o no dentro de las tolerancias máximas establecidas para el Grado TRES (3).

9.- MECÁNICA OPERATIVA PARA LA DETERMINACIÓN DEL GRADO: Se separará una porción de CINCUENTA (50) gramos representativa de la muestra lacrada, preferentemente mediante el uso de un homogeneizador y divisor de muestras y se procederá a efectuar, en forma correlativa las determinaciones indicadas a continuación:

9.1. Peso hectolítrico: Se determinará mediante el empleo de la balanza "Schopper" u otra que arroje resultados equivalentes, su valor se expresará según el cálculo establecido en la NORMA XXVI (Metodologías varias) o la que en el futuro la reemplace.

9.2. Granos dañados: Se procederá a separar manualmente todos los granos o pedazos de granos dañados presentes.

9.3. Materias extrañas: Se procederá a separar manualmente las materias extrañas.

9.4. Granos quebrados: El remanente de las separaciones efectuadas anteriormente se volcará sobre una zaranda como la descripta a continuación, y se procederá a realizar QUINCE (15) movimientos de vaivén sobre una superficie lisa y firme, con la amplitud que el brazo permita. Se pesará el material depositado en el fondo de la zaranda.

9.5. ZARANDA A UTILIZAR - Chapa de duro aluminio de CERO COMA OCHO (0,8) milímetros de espesor (+/- 0,1 mm). Agujeros circulares: de CUATRO COMA SETENTA Y SEIS (4,76) milímetros de diámetro (+/- 0,013 mm). Diámetro útil: TREINTA (30) centímetros. Alto: CUATRO (4) centímetros. Fondo: Chapa de aluminio UN (1) milímetro de espesor. Diámetro: TREINTA Y TRES (33) centímetros. Alto: CINCO (5) centímetros.

10.- Los resultados se expresarán al centésimo en forma porcentual, relacionando el peso del rubro separado con el de la porción analizada.

11.- NORMAS PARA LA LIQUIDACIÓN DE LA MERCADERÍA FUERA DE ESTÁNDAR:

11.1. Para determinar el valor correspondiente a la mercadería recibida, que resulte fuera de estándar, se tomará como base el del Grado TRES (3) o el del grado resultante del análisis, según se trate de los rubros incluidos en las definiciones de calidad o rubros de condición, respectivamente.

11.2. Rubros de descuento proporcional por calidad: Los excedentes por cada por ciento sobre las tolerancias del Grado TRES (3), se calcularán de acuerdo a la tabla que se consigna a continuación:

RUBRO	DESCUENTO
PESO HECTOLÍTRICO	1%
GRANOS DAÑADOS	1%
MATERIAS EXTRAÑAS	1%
GRANOS QUEBRADOS	0,25%

11.3. Rubros de descuento por fuera de condición: Las rebajas se calcularán de acuerdo a la tabla que se consigna a continuación, efectuándose el descuento por tipo, color y granos picados en forma proporcional por cada por ciento sobre las tolerancias establecidas en el punto 5.

RUBRO	DESCUENTO
TIPO	0,25%
COLOR	0,25%
GRANOS PICADOS	1%
OLORES COMERCIALES OBJETABLES (según intensidad)	Desde 0,5 a 2%
GRANOS AMOHOSADOS (según intensidad)	Desde 0,5 a 2%
CHAMICO	1,3 % de merma de peso y gastos de zarandeo
HUMEDAD	Se aplica la merma porcentual de peso correspondiente según tabla oficial vigente en el momento de la entrega. Deberá abonarse la tarifa de secado convenida o fijada.

Resumen del Standard para la comercialización de maíz (SAGyP, 1994).

TIPOS: DURO (a) - DENTADO (b)									FUERA DE ESTÁNDAR
COLOR: COLORADO -AMARILLO- BLANCO									
GRADO	Peso Hectolítrico Mínimo kg/hl	Tolerancia para cada grado			Tipo %	Color %	Granos picados %	Humedad %	
		Granos dañados %	Granos quebrados ¹ %	Materias extrañas %					
1	75	3,00	2,00	1,00	5,00	5,00	3,00	14,5	La mercadería que exceda las tolerancias establecidas, que presente olores comercialmente objetables, granos amohosados, que esté tratada con productos que alteren su condición natural, o que por cualquier otra causa de calidad inferior, será considerada fuera de estándar.
2	72	5,00	3,00	1,50					
3	69	8,00	5,00	2,00					
Descuento porcentual a aplicar por cada kg. faltante de P.H. o sobre el porcentaje de excedente	1,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,25	1,00	Tarifa convenida y merma de secado y manipuleo	DESCUENTO SOBRE EL PRECIO Olores objetables (según intensidad) Desde 0,50% a 2,00% Granos amohosados (según intensidad) Desde 0,50% a 2,00% CHAMICO 1,3% de merma de peso y gastos de zarandeo.

LIBRE DE INSECTOS Y ARACNIDOS VIVOS.

Tolerancias de semillas de chamico (*Datura ferox*) : 2 cada 100 gramos.

(1) Son aquellos pedazos de grano de maíz que pasan por una zaranda de agujeros circulares de 4,76 mm. de diámetro (+/- 0,013 mm.) excluidos los pedazos de granos de maíz dañado.

(a) Tipo Duro: se clasificarán en este tipo todos aquellos maíces cuyos granos sean de naturaleza córnea, predominantemente vitrea (más de la mitad de la constitución de su endosperma)

(b) Tipo Dentado: se clasificarán en este tipo todos aquellos maíces cuyos granos sean de naturaleza almidonosa (la mitad o más de la constitución de su endosperma) y presentan un hendidura pronunciada en la corona.

Bibliografía

- Alvarez, A. (2006). *Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias*. Argentina En: Recopilación de ILSI Argentina. Serie de Informes Especiales. Maíz y nutrición (ILSI Argentina Eds.). pp. 9-13.
- Bolsa de Comercio de Rosario. Catálogo de Daños y Defectos Comerciales de Granos de maíz. Disponible en:
<https://www.bcr.com.ar/Pages/Laboratorios/verCatalogo.aspx?Grano=Ma%C3%ADz>
Último acceso: Junio de 2015.
- Clemson University. (2003). *Sitophilus spp.* USDA Cooperative Extension Slide Series, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1233087#sthash.6liiHdPs.dpuf>
Último acceso: Junio de 2015.
- Duncan H. (2007). *Aspergillus ear and kernel rot Aspergillus flavus*. North Carolina State University, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1524051#sthash.18BmLLfw.dpuf>
Último acceso: Junio de 2015.
- Garzón, J.M., Rossetti, V. & Torre, N. (2014). *La demanda de maíz en Argentina: caracterización por actividad y provincia*. IERAL. Fundación Mediterránea 138:1-11.
- Gear, J., 2006. El cultivo de maíz en la Argentina En: Recopilación de ILSI Argentina. Serie de Informes Especiales. Maíz y nutrición (ILSI Argentina Eds.). pp 4-8.
- Normas de comercialización de maíz. (1994). *Proyecto de Eficiencia de Cosecha, Poscosecha de Granos y Forrajes, y Valor Agregado en Origen*.
www.cosechaypostcosecha.org/data/poscosecha/basesComercialización/basesComercializaciónMaíz.asp. Última visita: junio de 2015
- SAGyP. (1994). *Normas para la comercialización de maíz*. 6pp.
- Samaneck J. (2007). *Jimson weed Datura stramonium*. State Phytosanitary Administration, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5174015> Último acceso: Junio de 2015.
- Schroeder, J.W., Marx, J.D. & Park, C.S. (1998). *Waxy corn as a replacement for dent corn for lactating dairing cows*. Animal Feed Science and Technology 72: 111-120.

CAPÍTULO 10

Maíz: Objetivos del mejoramiento genético

Guillermo Gerard y María Rosa Simón

El maíz es una de las especies vegetales más ampliamente estudiadas desde el punto de vista genético. Se trata de una especie diploide cuyo genoma consiste de diez cromosomas con un tamaño estimado de entre 2,3 a 2,7 Gb. Al igual que otros grandes genomas de especies vegetales, el genoma del maíz consiste sobre todo de una fracción no codificante altamente repetida acompañada de segmentos de ADN únicos o de baja copia que albergan genes individuales o pequeños grupos de genes (Llaca *et al.*, 2011).

Esta especie presenta gran diversidad genética, distribuida a lo largo de toda la región considerada como su centro de origen. Se considera que existen más de trescientas razas de maíz en toda América, habiéndose encontrado en nuestro país (particularmente en noreste y noroeste) al menos cuarenta razas de maíces autóctonos (Gear, 2006). Este reservorio de variabilidad no constituye la base genética del maíz cultivado de manera comercial, ya que la misma se encuentra representada por un número mucho menor de genotipos seleccionados. A pesar de ello, dicha variabilidad genética mantiene un valor estratégico para los programas de mejoramiento actuales y futuros. Lo que sumado a sus características morfológicas como la ubicación en la misma planta de estructuras florales de distinto sexo, permite la aplicación de una variada gama de métodos de mejoramiento y de producción de semilla.

El mejoramiento genético debe entenderse como un proceso incremental y continuo de búsqueda de nuevas recombinaciones de genes que permitan disponer de un material que exprese mayores niveles de rendimiento, calidad, tolerancia a condiciones de estrés, etc. y consistente en la selección artificial deliberada de un grupo de individuos, que serán los progenitores de la siguiente generación (Eyherabide, 2006).

El mejoramiento genético más simple del maíz ha sido realizado durante siglos por los agricultores en forma masal, al seleccionar por sus características externas las espigas o granos que reservaban para la siembra del año siguiente. El comienzo del mejoramiento de la especie comenzó con las primeras civilizaciones a partir de razas locales existentes (*landraces*), que fueron la base del desarrollo de las variedades de polinización abierta. Estas variedades consistían en una colección de individuos heterocigotas y heterogéneos, en los cuales las distintas civilizaciones americanas fueron realizando repetidas selecciones a favor de los individuos que mejor se adaptaban al ambiente particular donde se desarrollaban las mismas. Durante este periodo aunque ciertos rasgos cualitativos fueron

fácilmente mejorados, la selección por mayores rendimientos demostró ser poco efectiva y la misma no mostró grandes respuestas (Crow, 1998). De esta forma y hasta 1930, existieron pocos cambios en los rendimientos medios, permaneciendo los mismos en aproximadamente 1300 kg.ha⁻¹ (Tollenaar & Lee, 2006).

Shull (1908), en Estados Unidos descubre que las líneas endocriadas de maíz mostraban un efecto deletéreo en su rendimiento y vigor, pero que el cruzamiento entre las mismas, es decir el híbrido, lo recuperaba completamente e incluso en muchos casos su rendimiento excedía al de las líneas parentales de las que eran derivados (Crow, 1998). Para denominar este fenómeno Shull (1908) utilizó la palabra heterosis como una abreviatura del proceso de estimulación de la heterocigosis. Este fenómeno de heterosis, se refiere a la superioridad en la performance de la F1 híbrida sobre sus padres (Tollenaar *et al.*, 2004) (Fig. 10.1).

$$H_{F1} = M_{F1} - M_P / M_P$$

Donde M_{F1}: media del híbrido y M_P: media de ambos progenitores



Figura 10.1. Heterosis en el desarrollo vegetativo (derecha) como en tamaño de la espiga (izquierda) observada en la F1 híbrida (tres líneas centrales) desarrollada a partir de los cultivares B73 y Mo 17.

Adaptado de Springer & Stupar (2007)

Aunque este fenómeno viene siendo usado desde su descubrimiento, tanto los mecanismos genéticos como fisiológicos que lo explican son muy poco entendidos. Desde el punto de vista genético, en la actualidad se han propuesto cuatro hipótesis:

Hipótesis de la dominancia: atribuye la heterosis a la acumulación de genes dominantes favorables o al enmascarado de genes recesivos deletéreos en el híbrido (Davenport, 1908; Jones, 1917).

Hipótesis de la sobre-dominancia: en este caso la heterosis resultaría de la presencia de loci sobre-dominantes, en los que la combinación heterocigota de los alelos es superior a cualquiera de las combinaciones homocigotas (Shull, 1908).

Hipótesis de la pseudo-sobredominancia: sería un caso intermedio entre las dos hipótesis anteriores, siendo en realidad un caso de complementación de dominancia,

debido a un estrecho ligamiento de la fase de repulsión por lo que parece ser sobre-dominancia (Stuber *et al.*, 1992).

Hipótesis de epistasis: la interacción entre genes no alélicos de dos o más loci serían el factor principal de la superioridad en la expresión fenotípica del híbrido sobre sus padres (Powers, 1945).

En general se considera que las distintas hipótesis no son excluyentes sino más bien que podrían complementarse, por lo que el fenómeno heterótico estaría integrado por efectos de dominancia, sobre-dominancia e interacción epistática entre genes en mayor o menor medida.

En la expresión fenotípica de la heterosis muchas veces están involucrados caracteres cuantitativos (Williams, 1959) y muchas de las dificultades que se presentan en la interpretación de la misma surgen de la falta de reconocimiento de las partes constituyentes de la expresión compleja. Una alternativa para un mejor entendimiento de la heterosis de los caracteres complejos como por ejemplo, el rendimiento, es cuantificar la respuesta heterótica observada en los procesos fisiológicos constituyentes. El rendimiento en grano está dado por la materia seca acumulada a madurez y por la proporción de la misma que es particionada al grano. La heterosis para materia seca acumulada a madurez y el índice de cosecha pueden subsecuentemente ser analizados en término de los procesos fisiológicos subyacentes a varios niveles de organización. Así, por ejemplo, la materia seca acumulada a madurez es el resultado de la tasa de acumulación de materia seca a través de la estación de crecimiento, la que a su vez depende de los procesos de intercepción de luz por la canopia y de la fotosíntesis de hoja. Por otro lado, el índice de cosecha está asociado con la capacidad de los destinos reproductivos de acumular asimilados y de la oferta de los mismos durante el periodo de llenado (Tollenaar *et al.*, 2004).

Tollenaar *et al.* (2004) concluyeron que los mecanismos fisiológicos asociados con la heterosis del rendimiento en grano de híbridos sobre líneas endocriadas son cuatro (Fig.10.2). Tres de ellos están asociados con la tasa de acumulación de materia seca (IAF, stay green y senescencia funcional) y uno está asociado con la partición de materia seca (capacidad de acumulación de asimilados).

1. Índice de área foliar: la heterosis para índice de área foliar (IAF) fue atribuida principalmente al mayor tamaño de las hojas (mayor largo de las mismas) de los híbridos con respecto a las líneas endocriadas. La materia seca acumulada es producto de la intercepción de luz por la canopia, la que a su vez es función del IAF, y de la fotosíntesis de hoja. La heterosis observada en la materia seca acumulada se atribuye principalmente a una mayor intercepción de radiación debido a mayor IAF que a una mayor fotosíntesis de hoja (Ahmadzadeh *et al.*, 2004; Armstrong, 2004).

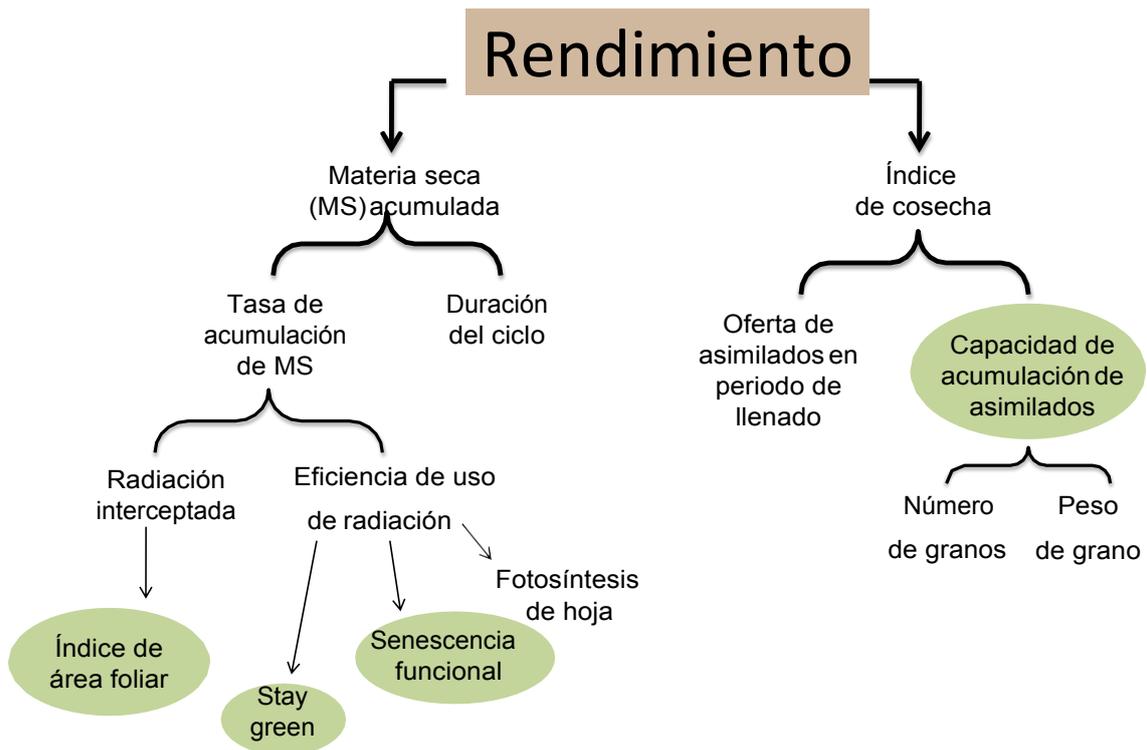


Figura 10.2. Componentes y procesos fisiológicos que determinan el rendimiento. En círculos verdes se presentan aquellos en los que se observa un mayor grado de heterosis de los híbridos con respecto a sus líneas endogámicas parentales

2. Stay green: la heterosis observada en la materia seca acumulada en los híbridos durante el periodo de llenado se atribuye en parte a la heterosis en la intercepción de radiación como se mencionó anteriormente y en parte a un mayor mantenimiento del área foliar verde por más tiempo que las líneas endocriadas.

3. Mantenimiento de la tasa fotosintética del área verde durante el periodo de llenado: la fotosíntesis máxima no ha cambiado en los híbridos con respecto a las líneas endocriadas, pero la declinación en la fotosíntesis máxima de la hoja y la senescencia funcional de la misma, durante el periodo de llenado de granos es menor en los híbridos que en sus líneas parentales (Valentinuz & Tollenaar, 2004) (Fig.10.3). Este hecho también favorece la heterosis en la tasa de acumulación de materia seca durante ese periodo (Ahmadzadeh *et al.*, 2004).

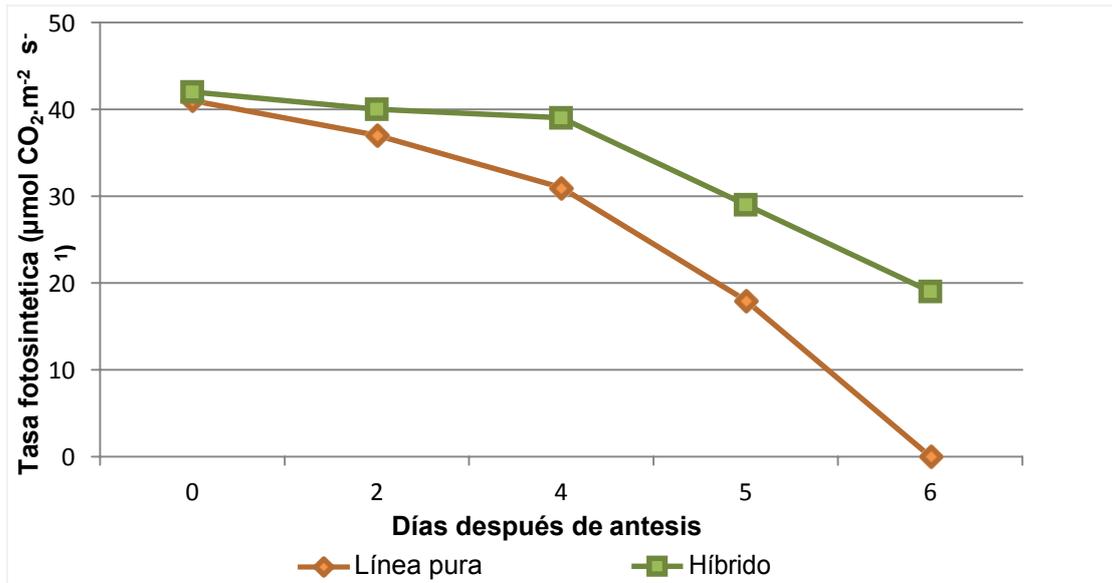


Figura 10.3. Fotosíntesis de hoja de un híbrido y su línea parental a 0, 2, 4, 5 y 6 días pos anthesis. Adaptado de Ahmadzadeh *et al.* (2004)

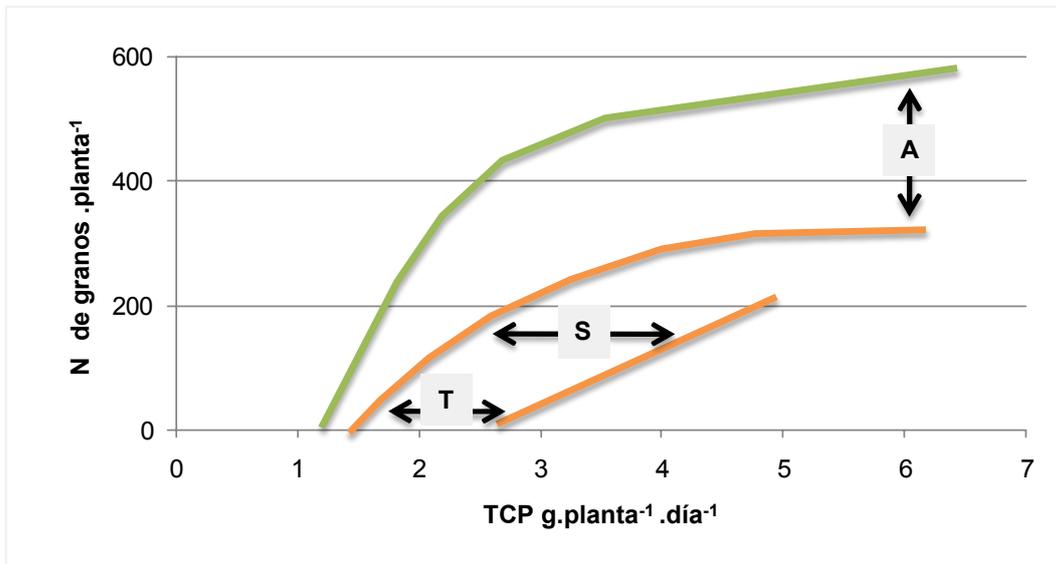


Figura 10.4. Representación esquemática de la relación entre el número de granos por planta y la tasa de crecimiento por planta (TCP) durante el periodo crítico, para un híbrido (línea verde) y dos líneas endocriadas (línea naranja), mostrando diferencias en: umbrales de tasa de crecimiento por planta (TCP) para el fijado de granos (T), pendiente inicial (S) y número potencial de granos por planta (A). Adaptado de Echarte & Tollenaar (2006)

4. Partición de la materia seca a grano: la heterosis observada en el índice de cosecha está fuertemente asociada con la heterosis en el número de granos, el que a su vez se encuentra asociado con la partición de materia seca a los granos durante el periodo de establecimiento de los mimos (Echarte *et al.*, 2004). La mayor partición a grano está representada por menores umbrales de tasa de crecimiento por planta (TCP) para la fijación de granos (Fig 10.4)

El descubrimiento de la heterosis dio lugar al desarrollo posterior de los cultivares híbridos, aunque en un comienzo la aplicación práctica del método de mejoramiento por endocria e hibridación fue dificultada por la escasa productividad de semilla de las líneas progenitoras y consecuentemente el alto costo de la semilla. Esta seria limitación práctica impidió la adopción del método hasta que Jones (1918) propuso la producción de híbridos dobles en lugar de híbridos simples entre líneas endocriadas. Esto permitió superar las limitaciones de rendimiento de semilla, ya que la destinada al productor resultaba del cruzamiento entre dos híbridos simples cuya mayor producción (producto de la heterosis) permitía generar y vender semilla híbrida a precios razonables (Eyherabide, 2006). A partir de este desarrollo, la adopción de híbridos dobles fue asombrosamente rápida debido principalmente a los mayores rendimientos, a una mayor uniformidad (lo que fue sumamente útil para la cosecha mecánica) y a que los híbridos eran notablemente más resistentes a la sequías que las variedades de polinización abierta usadas en ese entonces. Los híbridos también podían incorporar rasgos cualitativos favorables y adaptarse a distintos ambientes, especialmente en lo relacionado a la duración de la temporada de crecimiento (Crabb, 1947). En Estados Unidos en la década del '60 los híbridos simples comenzaron a reemplazar a los híbridos dobles. La selección por rendimiento en las líneas puras generó que sus rendimientos fueran lo suficientemente altos como para utilizarlas como productoras de semilla. De hecho, las líneas puras generadas por selección presentaron rendimientos tan altos como los de los primeros híbridos. Los híbridos simples generados a partir de tales líneas presentaron mayores rendimientos y la diferencia entre ellos y las líneas parentales se mantuvo. Los híbridos simples no solo presentaron mayores rendimientos que los híbridos dobles sino que también resultaron ser más uniformes como consecuencia de que su composición correspondía a un único genotipo.

En Argentina el desarrollo de híbridos dobles comenzó aproximadamente en la década de '50, pero recién en la década del '60 los mismos alcanzaron un porcentaje importante del área sembrada. Los trabajos de mejoramiento de maíz por endocria e hibridación se realizaron a partir de variedades locales de polinización abierta. Estas variedades correspondían a maíces de tipo colorados duros (flint), destacándose por la dureza de su endosperma, alta proporción y calidad de proteína, alto contenido de pigmentos carotenoides (lo que se refleja en el intenso color del grano) y buen comportamiento a adversidades bióticas. De esta manera, los híbridos dobles fueron sustituyendo a las variedades de polinización abierta durante un periodo de 30 años. A partir de los años 1980 se introdujeron los híbridos de tres vías conjuntamente con la incorporación de genotipos de maíz de tipo dentado provenientes de Estados Unidos y Europa. La introducción de germoplasma dentado con textura diferente de endosperma y un mayor potencial de rendimiento, particularmente en cruza con el germoplasma colorado local por su pertenencia a grupos heteróticos opuestos, permitió la futura difusión de los híbridos simples.

Los continuos progresos en la productividad del maíz en la país se correlacionan claramente con el tipo de cultivares utilizados en distintos períodos. En general, los cultivares más modernos superan a sus predecesores a través de diferentes ambientes y el comportamiento de las líneas parentales se ha ido incrementando como también su aptitud combinatoria (Rossi, 2007).

Con la introducción de los híbridos dobles además del aumento de rendimientos también se generó un aumento en la tasa de mejora. De esta manera, antes de la introducción de los híbridos no se observaban grandes aumentos en los rendimientos, siendo más bien los mismos estables. Con los híbridos dobles se observaron tasas de incremento de aproximadamente 25 Kg.ha⁻¹ año, mientras que con los híbridos simples las mismas alcanzaron los 50 Kg.ha⁻¹ año. Actualmente los rendimientos son cinco veces mayores que los que se obtenían antes de la introducción de los híbridos, lo que da cuenta del sucesivo mejoramiento que han venido sufriendo las líneas utilizadas como parentales. En los últimos años no parece haber una disminución en la tasa de incremento del rendimiento, por lo que no habría razón de esperar que el rendimiento se estabilice en un futuro cercano (Fig. 5) (Duvick *et al.*, 2004).

El mejoramiento genético de maíz a fines del siglo XX asimiló los desarrollos y avances en el conocimiento y la tecnología en diferentes áreas, tales como la genética, la biología molecular, la informática, la estadística, la ingeniería agrícola y la agronomía. Estos avances han transformado los programas de mejoramiento y aumentado drásticamente su eficiencia, especialmente medida en términos de progreso genético por unidad de tiempo.

La transformación genética ha permitido sobreponerse a barreras en los cruzamientos sexuales e incorporar genes de cualquier organismo (animal, vegetal, microorganismo) a cualquier especie que sea objeto de mejoramiento. El ejemplo más conocido en maíz es la incorporación a su pool génico del gen "Bt", propio de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. (Berl.). Este transgen es capaz de conferir resistencia al barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis* Fab.) y a otros insectos que limitan el rendimiento del cultivo.

La utilización de marcadores moleculares constituye otro de los grandes aportes de la biotecnología a la selección. Una de las aplicaciones más importantes de los marcadores moleculares es en la selección de características de difícil evaluación en condiciones de campo, o imposibles de detectar a nivel de planta entera antes de la floración. La incorporación de la biotecnología en los programas de mejoramiento de maíz en la Argentina ha permitido la liberación al mercado de híbridos transgénicos. Hoy en día, se dispone a nivel comercial de cultivares genéticamente modificados que poseen resistencia a *D. saccharalis* y *Spodoptera frugiperda* Smith, conferida por el gen Bt, y otros con resistencia a herbicidas (glifosato, glufosinato de amonio, imidazolinonas) (Eyherabide, 2006).

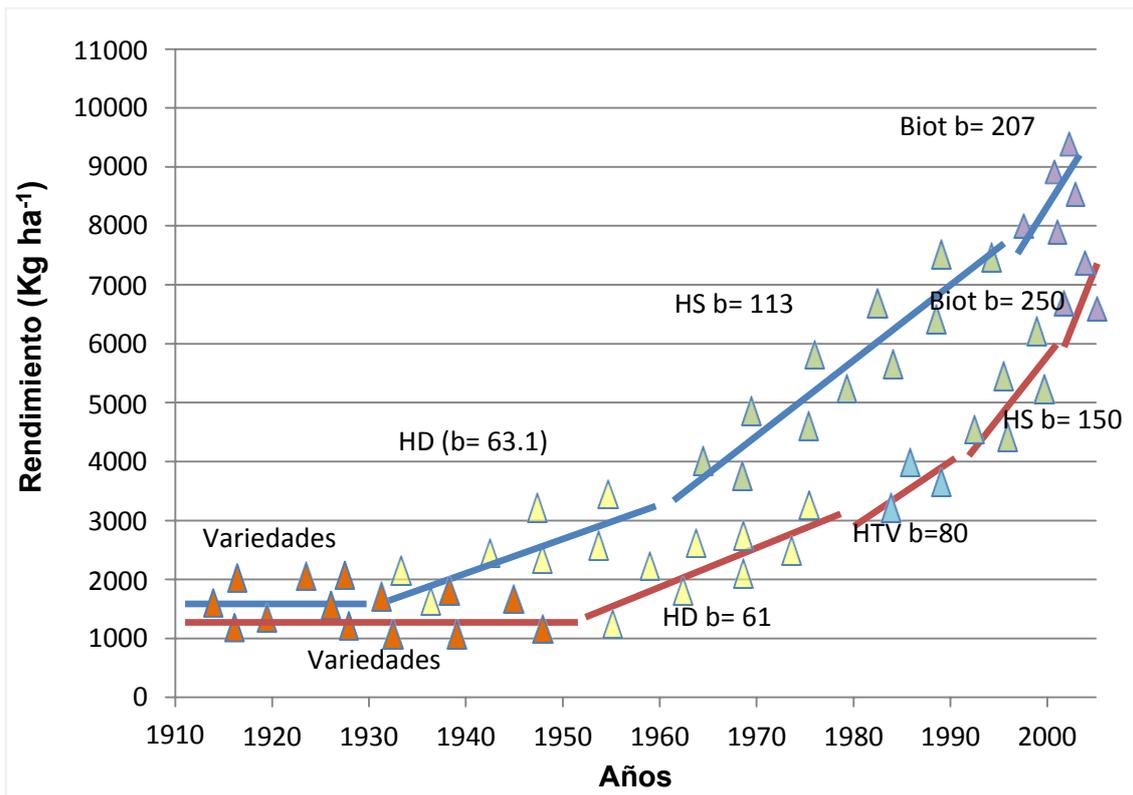


Figura 10.5. Evolución del rendimiento del cultivo de maíz y tipo de cultivar utilizado (HD: híbrido doble, HTV: híbrido tres vías, HS: híbrido simple, Biot: biotecnología) en Estados Unidos (línea celeste) y Argentina (línea roja). Los valores b de la regresión representan la ganancia de rendimiento por año de cada etapa. Adaptado de Troyer (2006) y Rossi (2007)

El rendimiento del cultivo de maíz se ha incrementado de $1000 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en la década del '30 (antes de la incorporación de los híbridos) hasta $7000 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en la década del '90. Este aumento de rendimiento no fue consecuencia de la heterosis ya que la misma permaneció relativamente constante durante todo el periodo. Esto fue demostrado por Duvick (1999), quien para probar el efecto de la heterosis a lo largo de la era híbrida realizó un ensayo en el que incluyó líneas puras y sus respectivos híbridos liberados desde la década del '30 hasta la década del '80. Los resultados de este experimento indicaron que en promedio, la ganancia de rendimiento de los híbridos a través las décadas (1930 a 1980) se debe muy poco al incremento en los niveles de heterosis.

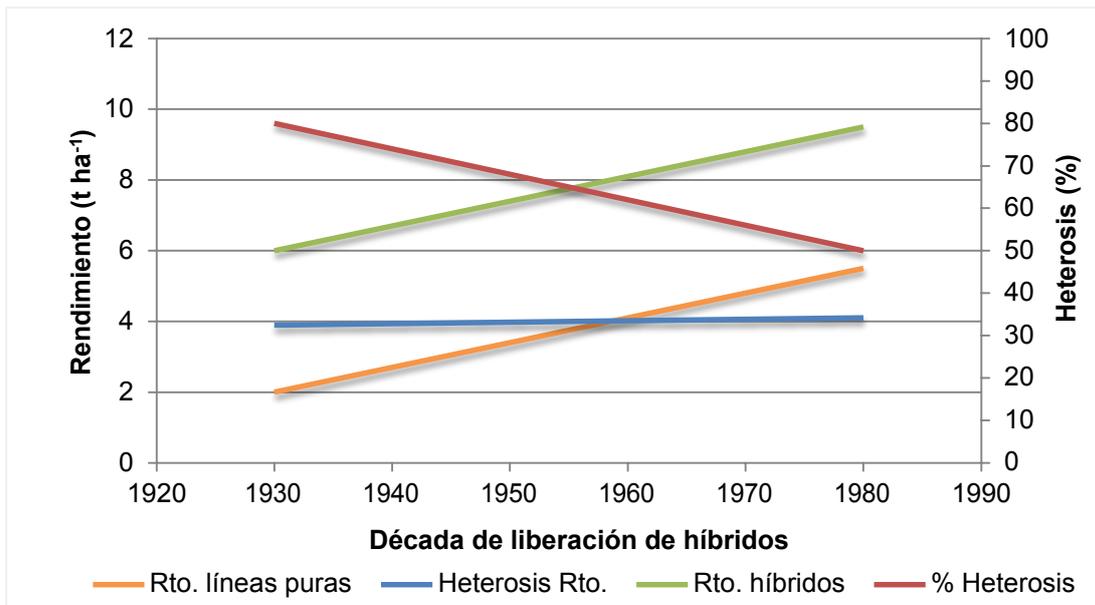


Figura 10.6. Rendimiento de los híbridos (línea verde), sus líneas endogámicas parentales (línea naranja), heterosis del rendimiento calculada como MF1-MP (línea azul) y porcentaje de heterosis calculado como $(MF1 - MP/MP) * 100$ (línea roja). Adaptado de Duvick (1999)

El aumento lineal del rendimiento de los híbridos simples a través de las décadas es casi paralelo al aumento de rendimiento de las líneas endocriadas utilizadas como parentales y consecuentemente la heterosis del rendimiento (F1-MP) es constante a través de las décadas. Ahora bien, si dicha heterosis se calcula como porcentaje respecto del rendimiento medio de los padres, los valores de la misma declinan de manera lineal. La razón de este comportamiento es que a valores constantes de heterosis se los divide por valores cada vez más grandes de rendimientos medios de los padres (Duvick *et al.*, 2004).

Si la heterosis ha permanecido constante a lo largo de las décadas, entonces la ganancia de rendimiento en la era híbrida puede haber sido causada por (i) ganancias genéticas realizadas a través del mejoramiento de plantas y (ii) adopción de mejores prácticas agronómicas. Es difícil hacer una estimación de la contribución de cada uno de manera individual, debido a que las mejoras genéticas están directamente asociadas con los cambios en el manejo del cultivo (densidad de plantas, uso de fertilizantes, etc.) y a que el aumento de rendimiento debido al manejo está directamente ligado con la capacidad de los híbridos de maíz para utilizar o tolerar el cambio en las prácticas de manejo (Tollenaar & Lee, 2002). Esta interacción fue demostrada por Duvick (1997), quien mostró que el rendimiento de híbridos liberados en los '90 no difería con híbridos de la década del '30 cuando eran sembrados a densidades bajas (10 mil pl.ha⁻¹) y que el rendimiento de los híbridos del '30 no difería significativamente cuando eran sembrados a densidades crecientes de 10 mil a 80 mil pl.ha⁻¹.

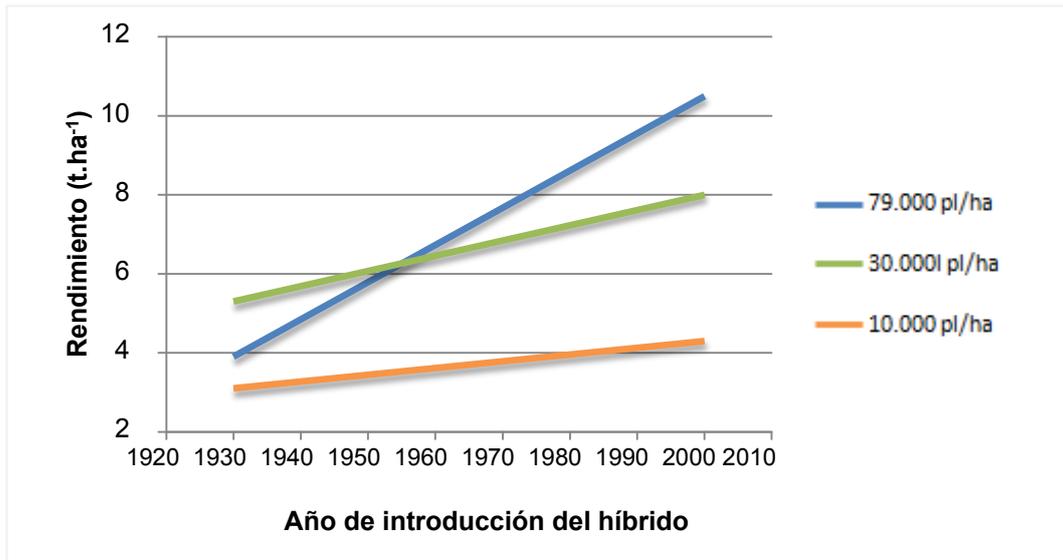


Figura 10.7. Predicción del Rendimiento de tres híbridos introducidos en distintas décadas y sembrados en tres densidades de planta. Adaptado de Duvick *et al.* (2004)

De esta forma al observar la Fig. 10.8, si asumimos que la contribución agronómica a la diferencia de rendimiento entre híbridos del '90 y '30 está representada por la densidad de plantas entonces (i) cuando la contribución agronómica es eliminada comparando los híbridos a 10.000 plantas/Ha, los resultados de Duvick (1997) muestran que los híbridos no difieren en rendimiento, lo cual implica que el rendimiento potencial por planta no ha cambiado (letras CB=AE=0); (ii) el rendimiento de híbridos del '30 no cambió con el aumento de la densidad, lo que implica que el componente agronómico per se no contribuyó al mejoramiento del rendimiento (letras DC=0). Es decir, no existió un efecto individual ya sea de la genética ni del manejo sobre el aumento del rendimiento. Esto implica que dicha mejora es atribuible a la interacción Híbrido x Ambiente.

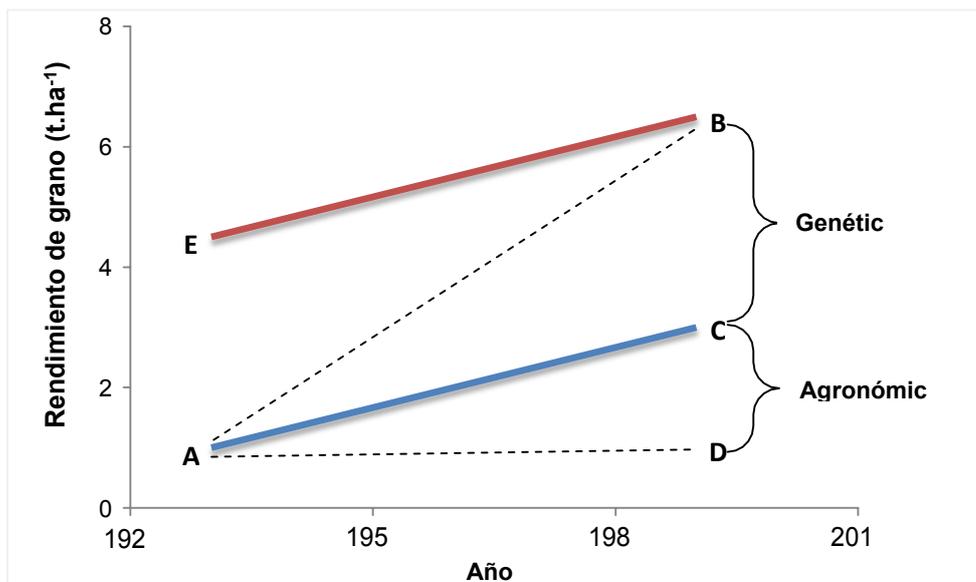


Figura 10.8. Rendimiento medio de híbridos sembrados desde 1930 a 1990 (AB) y la contribución hipotética de la genética (CB) y el manejo agronómico (DC) durante este periodo. Adaptado de Tollenaar & Lee (2002)

Más allá de que resulta difícil cuantificar de manera individual la contribución a la mejora del rendimiento como consecuencia de la interacción entre Híbridos y Ambiente, diferentes estudios utilizando híbridos y sus líneas parentales de las décadas del '20 hasta el '80 indican que un 40 a 60% del total de aumento de rendimiento se atribuye a la ganancia genética (Duvick, 1984, 1992; Russell, 1991) y el porcentaje restante a mejoras en las prácticas agronómicas (Cardwell, 1982) (Fig. 10.8).

El principal objetivo que han perseguido los distintos programas de mejoramiento en maíz ha sido la selección por mayor rendimiento. Adicionalmente y como consecuencia de diversos problemas bióticos o abióticos que se han ido presentando a lo largo de los años de mejora, ha sido necesaria la aplicación de objetivos adicionales:

- Severas sequías ocurridas en algunos años condujeron a la selección en dirección de tolerancia a sequía.
- La susceptibilidad al carbón de la espiga en algunos de los materiales tolerantes a sequía llevó a la búsqueda de materiales resistentes a carbón.
- La aparición de barrenadores del maíz trajo nuevas necesidades de tolerancia a insectos.
- Posteriormente con el uso de mayores densidades de plantas y mayor fertilización surgió la necesidad de híbridos con tallos y raíces más fuertes y con mayor resistencia a la aridez.
- El continuo incremento posterior de la densidad de plantas incrementó la necesidad de mayor tolerancia a la sequía y al sombreado, así como también a otros tipos de estrés.
- En los años posteriores con el incremento de la siembra directa surgió la necesidad de híbridos resistentes a nuevas enfermedades.

El aumento de rendimiento a lo largo de las décadas en el cultivo de maíz estuvo asociado a diversos cambios morfológicos o fisiológicos que han contribuido a dicho aumento. Estos cambios observados en la planta de maíz a través de los subsecuentes ciclos de selección se pueden clasificar arbitrariamente en dos grupos:

Cambios que incrementan la producción de grano

1-Panojas más pequeñas: más energía disponible para la producción de granos y menos sombreado hacia las hojas (Fig. 10.9A)

2-Mayor ángulo de las hojas respecto a la superficie del suelo: hojas más erectas mejoran la distribución de la radiación sobre todo en altas densidades (Fig. 10.9B).

3- Mayor número potencial de granos: cuando los recursos no son escasos se observa un mayor número de granos por planta (Fig.10.9C).

4- Reducción del contenido de proteína y aceite con un aumento del porcentaje de azúcar: menos energía e necesaria para producir azúcar que proteína (Fig. 10.9D).

5-Tallos más cortos: mayor cantidad de agua y nutrientes para la producción de granos.

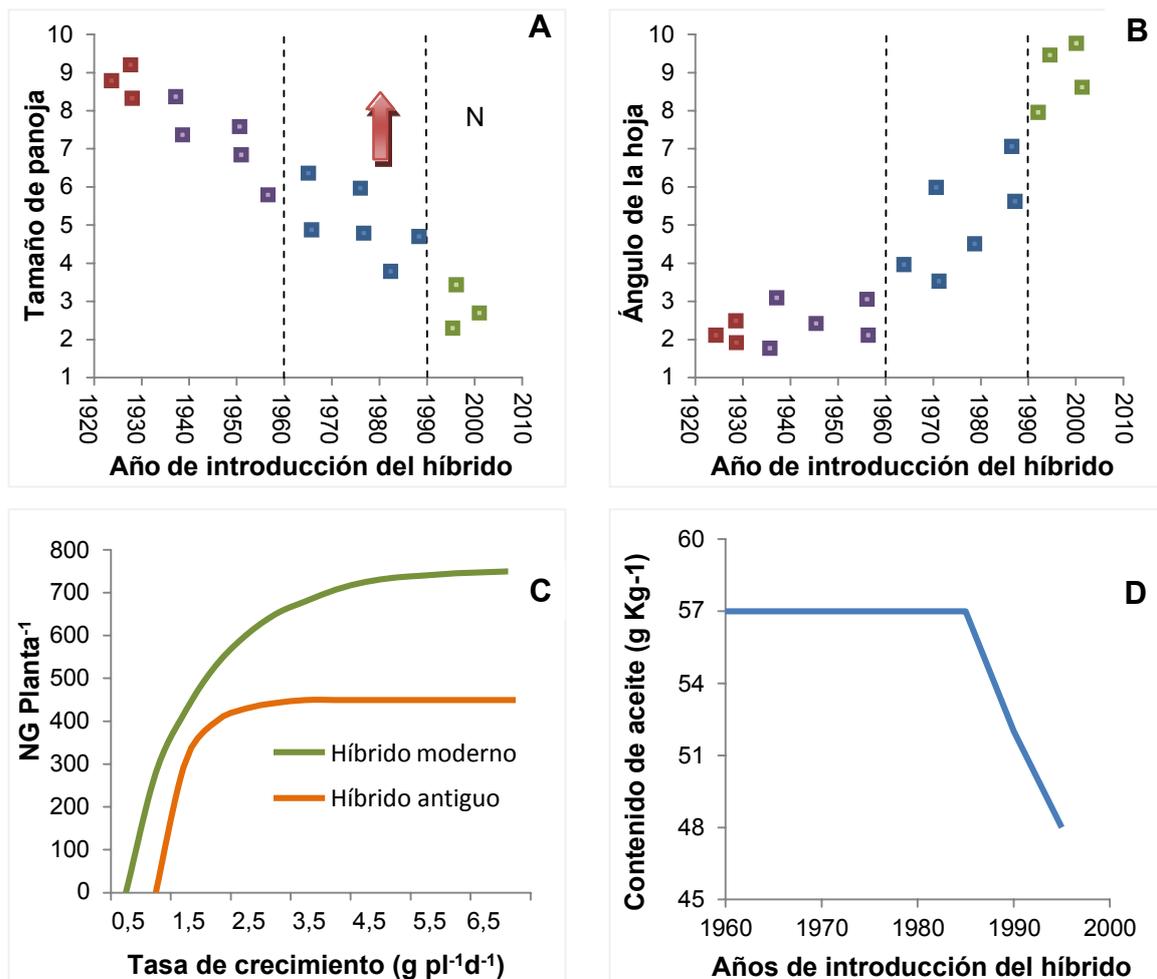


Figura 10.9. **A y B.** cambio en el tamaño de la panoja y ángulo de la hoja a través de los años (cuadrados rojos: variedades; cuadrados violetas: híbridos dobles; cuadros azules: híbridos simples; cuadros verdes: híbridos simples modernos) (adaptado de Duvick *et al.*, 2004). **C.** número potencial (NP) de granos en híbridos modernos (línea verde) vs. híbridos viejos (línea naranja) (adaptado de Echarte *et al.*, 2004). **D.** disminución del contenido de aceite en grano a través de los años (adaptado de Echarte *et al.*, 2013)

Cambios que mejoran la tolerancia a estrés

1-Menor intervalo antesis-estigma: mayor sincronía entre floración masculina y femenina, señal de que el desarrollo de la espiga no está obstaculizado (Fig. 10.10A).

2- Mayor stay green: plantas menos propensas a la senescencia prematura (Fig. 10.10B).

3- Número de espigas por planta en condiciones de estrés: menor esterilidad de las plantas a altas densidades o bajo otro tipo de estrés ambiental, resultando en un mayor número de espigas por m² (Fig. 10.10C).

4- Menor umbral de tasa de crecimiento por planta (TCP) para la fijación de granos: híbridos más nuevos tienen menor umbral de TCP a partir del cual comienzan a fijar granos, principalmente como consecuencia del menor tamaño de panoja, lo que permite destinar una mayor cantidad de asimilados a la espiga. La mayor partición de MS a espiga en híbridos más recientes contribuye a una mayor estabilidad de rendimiento y del índice de

cosecha en relación a los híbridos más viejos cuando disminuyen los recursos por planta (Fig. 10.10D).

5- Menor vuelco de tallos: tallos más fuertes y menos afectados por organismos del tallo.

6-Mejoramiento de la tolerancia a enfermedades: como el tizón del maíz (*Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs).

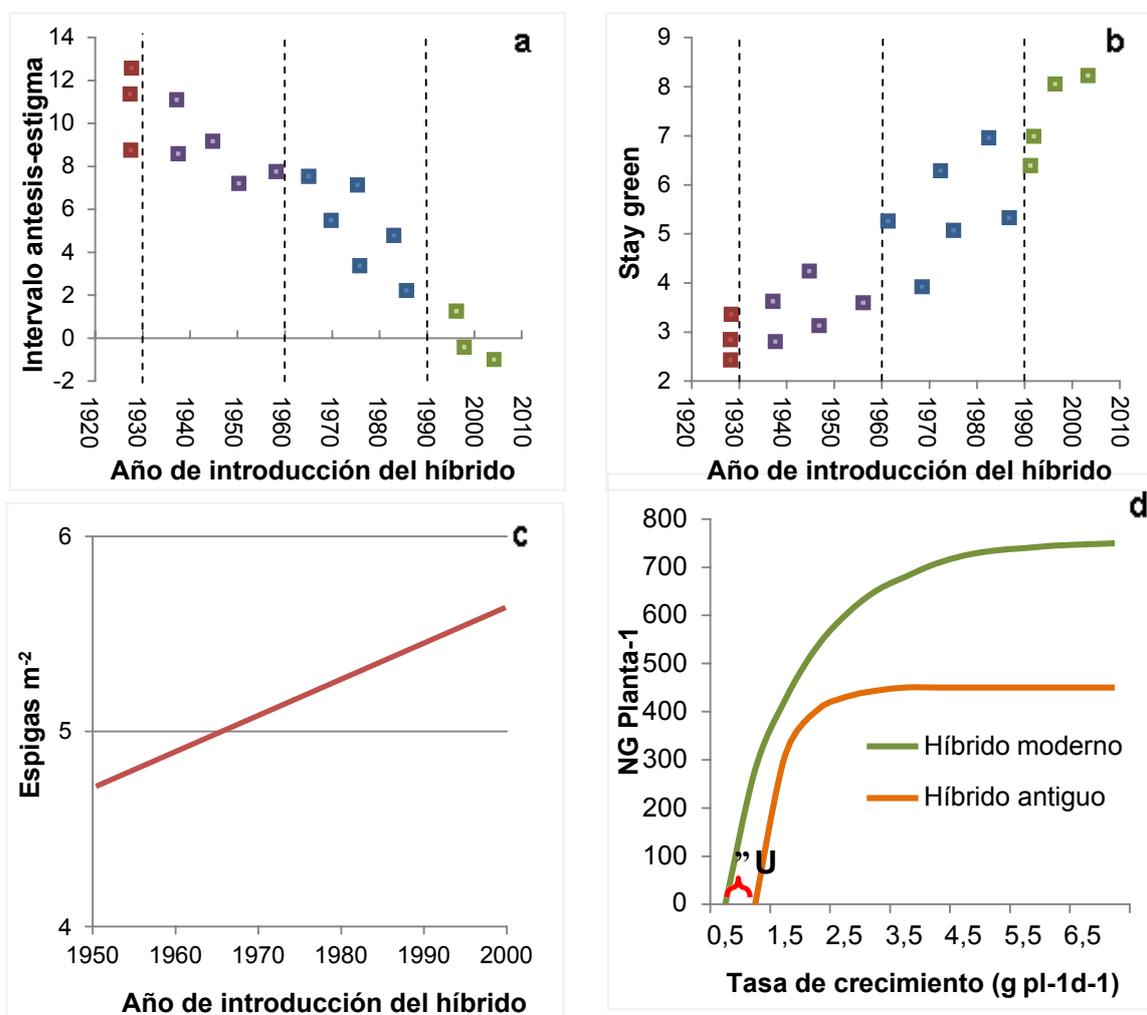


Figura 10.10. **A y B.** cambio en el intervalo antesis-estigma y *stay green* a través de los años (cuadrados rojos: variedades; cuadrados violetas: híbridos dobles; cuadros azules: híbridos simples; cuadros verdes: híbridos simples modernos) (adaptado de Duvick *et al.* (2004). **C.** incremento del número de espigas m² a través de los años (adaptado de Mason *et al.*, 2007) y **D.** Umbral de TCP (g pl⁻¹ d⁻¹) para comenzar a fijar granos en híbridos modernos (línea verde) vs. híbridos antiguos (línea naranja) (adaptado de Echarte *et al.* (2004)

Por otro lado, los mejoradores seleccionaron deliberadamente para no cambiar ciertos rasgos como: altura de planta, ciclo a madurez (el tiempo a antesis y la humedad del grano a cosecha no han cambiado a lo largo de los años), número de hojas por planta (Duvick *et al.*, 2004).

Los cambios observados a través de los sucesivos ciclos de selección pueden explicar desde el punto de vista fisiológico las ganancias genéticas de rendimiento. En general, el mejoramiento genético de rendimiento en maíz no se ha asociado al aumento del índice de cosecha, salvo en cultivares de nuestro país, en donde se ha observado un incremento en la

misma a través del paso de las décadas (Echarte & Andrade, 2003). En los demás países, los híbridos liberados a lo largo de los años presentan similar índice de cosecha, es decir el mismo se ha mantenido constante, lo cual contrasta con lo sucedido en otras especies de interés agronómico como trigo o arroz en donde el índice de cosecha se ha incrementado significativamente por efecto del mejoramiento (Tollenaar *et al.*, 1994). Consecuentemente el mejoramiento genético del maíz se ha debido a incrementos de la MS acumulada a lo largo del ciclo del cultivo. Por su parte, el incremento de MS puede resultar de **(i) un incremento de la intercepción de luz por la canopia del cultivo debido a un mayor IAF**: el IAF se ha incrementado como consecuencia de mayores densidades de planta, pero híbridos modernos también están asociados a mayores ángulos de las hojas (menor K) (Fig. 10.9b). En consecuencia la mayor intercepción de radiación resultante de una mayor IAF se ve compensada en parte por la reducción en el coeficiente de extinción, por lo que el efecto conjunto sobre el rendimiento ha sido bajo. **(ii) una mayor duración del área foliar verde (mayor captura de recursos)**: Uno de los cambios observados a través de la selección que más se asocia con el mejoramiento genético del rendimiento en maíz es el retraso de la senescencia foliar o “*stay green*” (Tollenaar, 1991; Duvick, 1997) (Fig. 10.10b). El retraso en la senescencia foliar incrementa la intercepción de la radiación debido a que extiende el periodo durante el cual la canopia del cultivo intercepta radiación solar incidente. **(iii) una mayor tasa de fotosíntesis de la canopia por unidad de radiación absorbida (mayor utilización del recurso)**: una mayor tasa de fotosíntesis de la canopia a su vez puede ser atribuida a:

(iii.a) mejor distribución de la radiación interceptada por la canopia: al incrementarse el ángulo de las hojas con respecto a la superficie del suelo (menor K) se ha modificado la arquitectura foliar de la planta, por lo que la radiación es distribuida de manera uniforme a través de todos los estratos de la misma (Fig. 10.11).

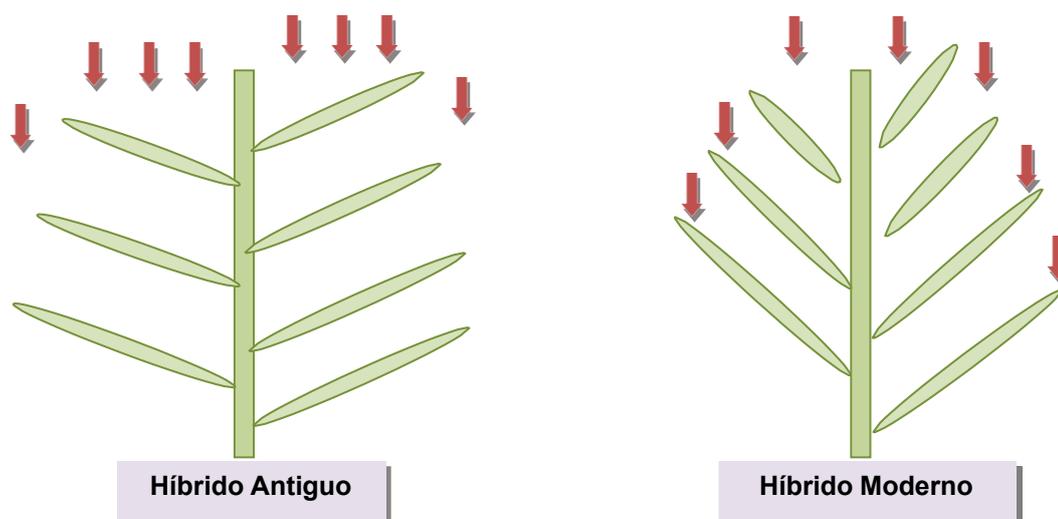


Figura 10.11. Ángulo de las hojas con respecto a la superficie del suelo. Mayor ángulo (híbrido moderno) mejor distribución de la radiación en la canopia (flechas rojas)

Una distribución más uniforme de la radiación a través de la canopia genera un mayor IAF iluminado incrementando de esta forma la fotosíntesis de la canopia (Tollenar & Dwyer, 1999). Aunque el efecto de mayores ángulos sobre la fotosíntesis de canopia no se ha medido, un incremento de 30 a 60 ° podría resultar teóricamente en un aumento de 15 a 30% en la MS acumulada (Tollenar & Dwyer, 1999).

(iiib) mayor tasa de intercambio de carbono por unidad de área foliar: para fotosíntesis máxima de la hoja, distintos trabajos han comparado híbridos nuevos vs. viejos (Ying *et al.*, 2002; Duvick, 1997) mostrando que la misma no está asociada al mejoramiento genético del rendimiento. Aunque la fotosíntesis máxima de hoja no ha diferido entre híbridos, sí se ha podido comprobar que la declinación de la misma durante el periodo de llenado de grano es mayor en híbridos viejos que en los más recientes (Ding *et al.*, 2005) (Fig. 10.12).

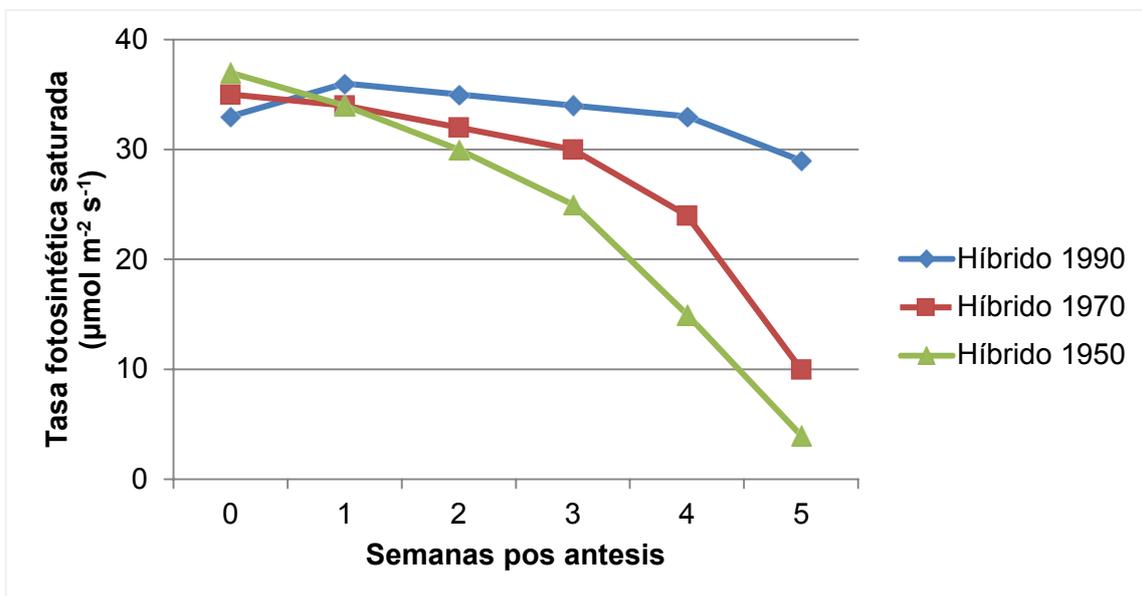


Figura 10.12. Cambio en la tasa fotosintética de hojas de híbridos de maíz liberados en diferentes décadas. Adaptado de Ding *et al.* (2005)

(iiic) mayor tolerancia de la tasa de intercambio de carbono a estrés abióticos: se ha podido comprobar que la fotosíntesis de hoja en condiciones sub óptimas, es decir con híbridos sometidos a un estrés, es más elevada en nuevos híbridos comparados con los viejos. Distintos estudios muestran que la fotosíntesis de hoja en híbridos nuevos es más tolerante al estrés que la de los híbridos viejos cuando las plantas fueron sometidas a bajas temperaturas nocturnas durante el periodo de llenado (Fig. 10.13a) (Dwyer & Tollenar, 1989), estrés hídrico (Fig. 10.13b) (Dwyer *et al.*, 1992), alta densidad (Fig. 10.13c) (Dwyer *et al.*, 1989) y bajo nitrógeno (Fig. 10.13d) (Mc Cullough *et al.*, 1994). También se ha visto que luego de pasado el estrés la tasa fotosintética se recupera más rápido en híbridos más recientes (Nissanka *et al.*, 1997).

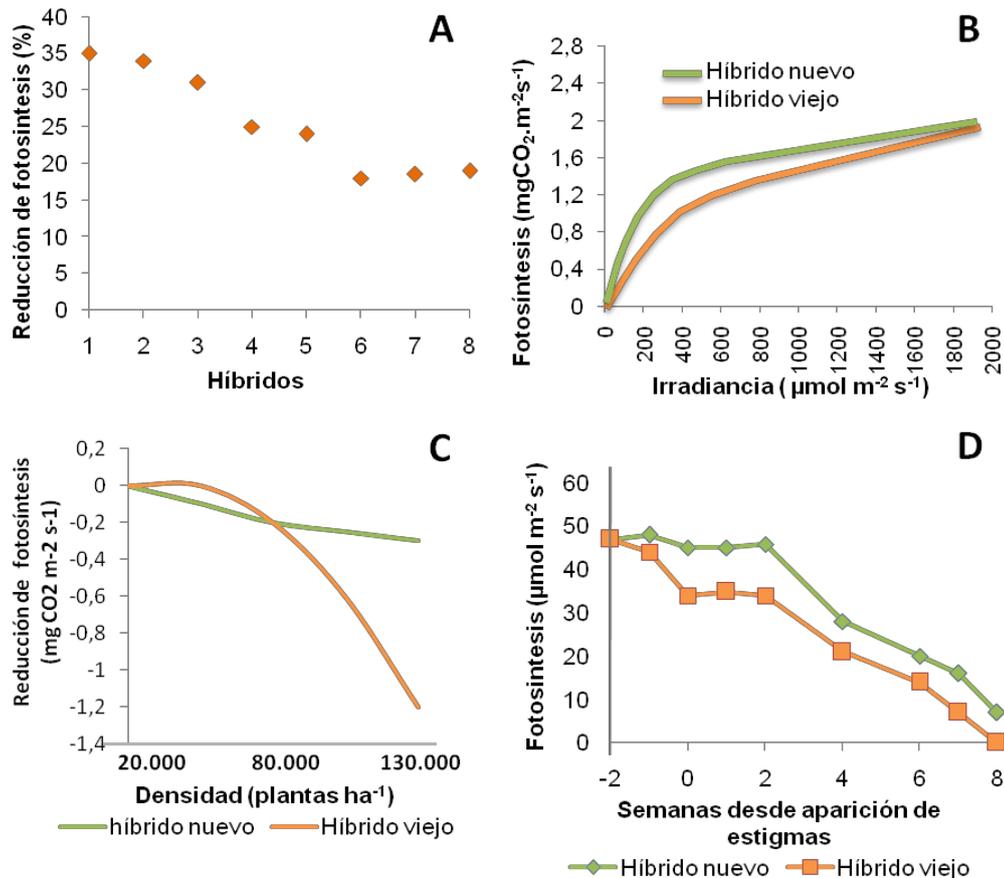


Figura 10.13. **A.** disminución de la fotosíntesis en híbridos sometidos a temperaturas nocturnas menores a 10°C (1:híbrido mas viejo al 8: híbrido mas nuevo) (adaptado de Dwyer & Tollenaar, 1989). **B.** Recuperación de la fotosíntesis en dos híbridos (línea verde: nuevo y línea naranja: viejo) luego de ser sometidos a estrés hídrico (adaptado de Dwyer *et al.*, 1992). **C.** Fotosíntesis postantesis bajo condiciones de estrés nitrogenado (Híbrido nuevo: línea verde; Híbrido viejo: línea naranja) (adaptado de Echarte *et al.*, 2008). **D.** Reducción de la fotosíntesis en dos híbridos (Híbrido nuevo: línea verde; Híbrido viejo: línea naranja) con el aumento de la densidad (adaptado de Dwyer *et al.*, 1989).

Estos trabajos demuestran que las tasas potenciales de muchos de los procesos involucrados en la formación del rendimiento no han cambiado y que más bien, el aumento del mismo ha resultado predominantemente de incrementos de la tolerancia a estrés, en particular durante el periodo de llenado. La mayor tolerancia en híbridos más modernos ha sido asociada con una mayor estabilidad (Tollenaar & Lee, 2002), siendo esta última uno de los mayores objetivos perseguidos en los programas actuales de mejora. A partir de los progresos alcanzados, es factible hallar híbridos con rendimientos altos y que no difieran estadísticamente en diferentes ambientes (medida de estabilidad). La mayor estabilidad estaría dada por una mayor habilidad para sostener el rendimiento a medida que los recursos se tornan escasos como resultado de algún tipo de estrés (Valentinuz, 2014) (Fig. 10.14). La diferencia entre las *dos rectas* representa el progreso del mejoramiento en términos de estabilidad o tolerancia a estrés obtenido en híbridos modernos vs. híbridos antiguos. También se puede observar el potencial disponible para mejoramientos genéticos futuros (área roja).

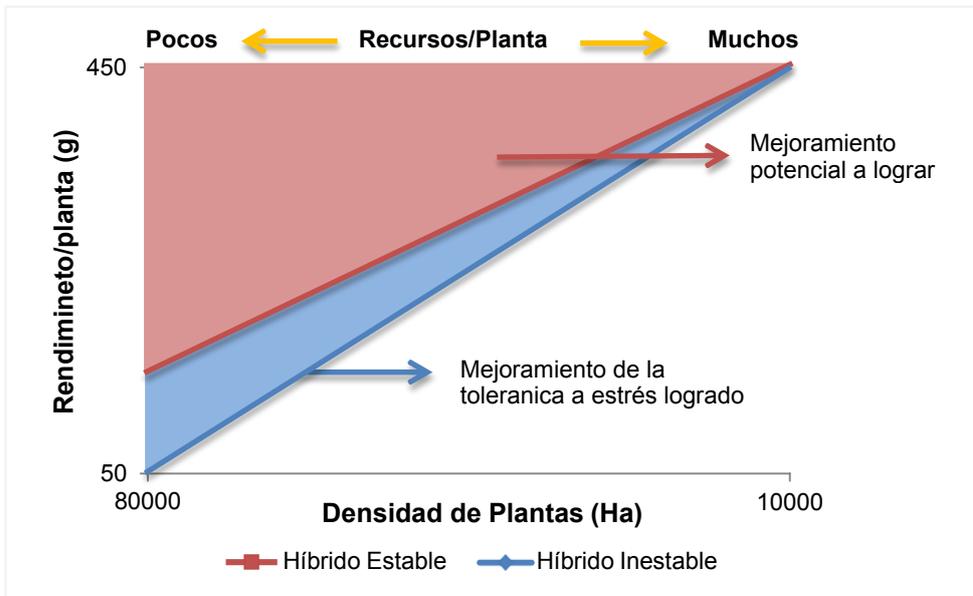


Figura 10.14. Relación entre los recursos disponibles (densidad) y el rendimiento por planta, mostrando el progreso en el mejoramiento genético logrado y el mejoramiento potencial a lograr. Adaptado de Duvick (1997)

La base biológica de la tolerancia a estreses en general es poco conocida, tratándose de un rasgo complejo que se comporta como un típico carácter cuantitativo. Los enfoques moleculares tradicionales han tratado de estudiar la misma a través de los enfoques reduccionistas, focalizándose en un gen a la vez, trabajando con un estrés específico y tratando la respuesta a estreses como un rasgo cualitativo. Este tipo de metodología no ha tenido mucho éxito cuando el rasgo en estudio es de tipo cuantitativo. Por ello, un enfoque global (analizando el sistema como un todo) es requerido para un mejor entendimiento y manipulación de este tipo de tolerancia. Los avances de la biología molecular y de las técnicas de ingeniería genética abren una nueva etapa en la biotecnología aplicada a la agricultura, y ofrecen nuevas tecnologías para la producción de maíz. En la actualidad y gracias a las tecnologías de secuenciación de nueva generación, la inversión está orientada a la secuenciación masiva de genes para luego estudiar su función siendo aun más lenta su explotación y uso (Fig. 10. 15).

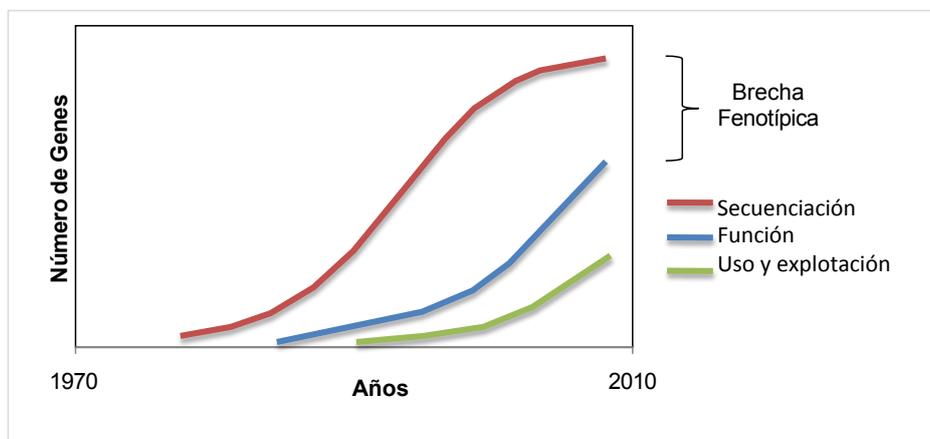


Figura 10.15. La inversión actual está orientada a la secuenciación masiva de genes (línea roja), posteriormente al estudio de su función (línea azul), lo que genera una brecha fenotípica y por último una vez identificada su función se realiza su uso y explotación (línea verde). Adaptado de Pardey *et al.* (2013)

También el análisis de QTLs está siendo usado para identificar regiones cromosómicas responsables de la expresión de distintos rasgos cuantitativos de importancia. De esta manera en maíz, a través de este tipo de análisis se han identificado regiones que influyen en rasgos como: **(i)** rendimiento de grano: se han identificado numerosos QTLs asociados específicamente con el rendimiento de grano o que explican su respuesta conjuntamente con la de otros caracteres (Semagn *et al.*, 2013; Cai *et al.*, 2012). Las regiones cromosómicas identificadas para este carácter de tipo cuantitativo, en general presentan falta de consistencia a través de diferentes ambientes indicando significativa interacción genotipo-ambiente. **(ii)** Caracteres asociados a tolerancia a estrés: como germinación de polen y tubo polínico bajo estrés térmico (Frova & Sari-Gorla, 1994), intervalo anthesis-estigma (Tuberosa *et al.*, 1998), adaptación a distintas condiciones de crecimiento (Jiang *et al.*, 1999). **(iii)** Resistencia a enfermedades: numerosos son los trabajos llevados a cabo en nuestro país en la identificación de genotipos que presentan resistencia a enfermedades como el Mal de Rio Cuarto. Para la que existe variabilidad en los genotipos locales, lo que ha permitido la identificación de QTLs de resistencia como así también la asociación de marcadores moleculares, lo que permite realizar selección de genotipos con buen comportamiento (Di Renzo *et al.*, 2004; Bonamico *et al.*, 2010). También se han identificado QTLs para la resistencia a roya común (*Puccinia sorghi* Schwein.) y podredumbre de la espiga de maíz (*Fusarium moniliforme* Sheldon.), los que explicaron 27% y 6,5% de la variación fenotípica del carácter respectivamente (Rey *et al.*, 2009). Actualmente se dispone además de híbridos resistentes a tizon foliar (*Exserohilum turcicum* Pass.) en los que las lesiones necróticas son rodeadas por un halo clorótico donde la esporulación es baja a nula. Estas reacciones de hipersensibilidad se deben a la presencia de una serie de genes de resistencia Ht (Couretot *et al.*, 2011). **(iv)** Resistencia a plagas: más allá de que se ha encontrado resistencia natural a insectos plagas como barrenadores de la espiga (Lee *et al.*, 1998), en general la mayoría de los híbridos utilizados en el país son de tipo transgénicos. Presentan la endotoxina insecticida de *Bacillus thuringiensis* (Bt) y ofrecen una nueva práctica de control. Los maíces Bt disponibles en el mercado argentino actual permiten controlar de manera eficaz el barrenador del tallo durante todo el ciclo, al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith.), la isoca de la espiga (*Heliothis zea* Boddie.), principales plagas en zonas subtropicales y también controla parcialmente la oruga grasienta (*Agrotis ipsilon* Hufnagel.). **(v)** Resistencia a herbicidas: actualmente, además de cultivares convencionales tolerantes a imidazolinonas (IMI), se dispone de híbridos transgénicos tolerantes a glufosinato de amonio (LL o Liberty Link) y a glifosato (eventos NK603 y GA21). También existen híbridos que combinan la tolerancia a herbicidas con resistencia a insectos (Rossi, 2007).

Bibliografía

- Ahmadzadeh A., Lee E.A., Tollenaar M. (2004). *Heterosis for leaf CO₂ exchange rate during the grain-filling period in maize*. Crop Science. 44: 2095-2100. and processes. D.L. Smith y C. Hamel (Eds) pp. 169-204.
- Armstrong A. (2004). *Hybrid vigor for leaf CO₂ exchange rate and dry matter accumulation during the life cycle in maize*. MSc thesis, Univ. of Guelph, ON, Canada.
- Bonamico N.C., Balzarini M.G., Arroyo A.T., Ibañez M.A., Díaz D.G., Salerno J.C., Di Renzo M.A. 2010. Association between microsatellites and resistance to Mal de Río Cuarto in maize by discriminant analysis. *Phyton* 79: 31-38.
- Cai H., Chu Q., Gu R., Yuan L., Liu J., Zhang X., Chen F., Mi G., Zhang F. (2012). *Identification of QTLs for plant height, ear height and grain yield in maize (Zea mays L.) in response to nitrogen and phosphorus supply*. Plant Breeding 131:502–510.
- Cardwell W.A. (1982). *Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase*. Agronomy Journal 74:984-990.
- Couretot L. (2011). *Principales enfermedades del cultivo de maíz*. Actas de VI Jornada de Actualización Técnica de Maíz. Pergamino, 9 de Agosto 2011.
- Crabb A.R. (1947). *The Hybrid Corn Makers: Prophets of Plenty*. Genetics 33: 439-446.
- Crow. J.F. (1998). *Anecdotal, historical and critical commentaries on genetics*. Genetics 148:923- 928.
- Davenport C.B. (1908). *Degeneration, albinism and inbreeding*. Science 28:454-455.
- Di Renzo M.A., Bonamico N.C., Díaz D.G., Ibañez M.A, Faricelli M.E., Balzarini M.G., Salerno J.C. 2004. Microsatellite markers linked to QTL for resistance to Mal de Río Cuarto disease in *Zea mays* L. *Journal of Agricultural Science* 142: 289-295.
- Ding L., Wang K.J., Jiang G.M., Liu M.Z., Niu S.L., Gao L.M. (2005). *Post-anthesis changes in photosynthetic traits of maize hybrids released in different years*. Field Crops Research 93:108–115.
- Duvick D.N. (1984). *Genetic contributions to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930 to 1980*. En: Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. W.R. Fehr (Ed). pp. 15-47.
- Duvick D.N. (1997). *What is yield?*. En: Developing drought and low-N tolerant maize. G.O. Edmeades., Bänziger M., Mickelson H.R., Pena-Valdivia C.B. (Eds.).
- Duvick D.N. (1999). *Heterosis: feeding people and protecting resources*. En: The genetics and exploitation of heterosis in crops. J.G. Coors y S. Pandey (Eds). pp. 19-29.
- Duvick D.N., Smith J.S.C, Cooper M. (2004). *Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program*. Plant Breeding 24:109-151.
- Dwyer L. M., Tollenaar M., Stewart D. W. (1989). *Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis -of miize (Zea mays L.) hybrids, 1959 to 1988*. Canadian Journal Plant Science 71:1-11.
- Dwyer L.M., Stewart D.W., Tollenaar M. (1992). *Analysis of maize leaf photosynthesis under drought*. Canadian Journal Plant Science. 72: 477-481.

- Dwyer L.M., Tollenaar M. (1989). *Genetic improvement in photosynthetic response of hybrid maize cultivars, 1959 to 1988*. Canadian Journal Plant Science. 69: 81-91.
- Echarte L., Andrade F.H. (2003). *Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993*. Field Crops Research. 82: 1-12.
- Echarte L., Andrade F.H., Vega C.R.C., Tollenaar M. (2004). *Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993*. Crop Science 44: 1654-1661.
- Echarte L., Andrade F.H., Vega C.R.C., Tollenaar M. 2004. Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. Crop Science 44: 1654-1661.
- Echarte L., Nagore L., Di Matteo J., Cambareri m., Robles M., Della Maggiora A. (2013). *Grain Yield Determination and Resource Use Efficiency in Maize Hybrids Released in Different Decades*. En: Agricultural Chemistry.M. Stoytcheva (Ed.) pp 19-36.
- Echarte L., Rothstein S., Tollenaar M. (2008). *The Response of Leaf Photosynthesis and Dry Matter Accumulation to N Supply in an Older and a Newer Maize Hybrid*. Crop Science 48:656-665.
- Echarte L., Tollenaar M. (2006). *Kernel set in maize hybrids and their inbred lines exposed to stress*. Crop Science 46: 870-878.
- Eyherabide H.G. (2006). *Mejoramiento genético de maíz y su trayectoria en la Argentina*. Revista Maizar 2:14-21.
- Frova C., Sari-Gorla M. (1994). *Quantitative trait loci (QTLs) for pollen thermotolerance detected in maize*. Molecular Genetics and Genomics 245: 424-430.
- Gear J.R.E. (2006). *El cultivo de maíz en Argentina*. Revista Maizar 2:4-8.
- Jiang C., Edmeades G.O., Armstead I.P., Lafitte H.R., Hayward M.D., Hoisington D. Genetic analysis of adaptation differences between highland and lowland tropical maize using molecular markers. Theoretical and Applied Genetics 99: 1106-1119.
- Jones D.F. (1917). *Dominance of linked factors as a means of accounting for heterosis*. Proceedings of the National Academy of Sciences 3:310-312.
- Jones D.F. (1918). *The effects of inbreeding and crossbreeding upon development*. Connecticut Agricultural Experiment Station 107:100 pp.
- Llaca V., Campbell M.A., Deschamps S. 2011. Genome diversity in maize. Journal of Botany 2011:1-10.
- Mason S. C., Kathol D, Eskridge K.M., Galusha T.D. (2008). *Yield Increase Has Been More Rapid for Maize than for Grain Sorghum*. Crop Science 48:1560–1568.
- Nissanka S.P., Dixon M.A., Tollenaar M. (1997). *Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid*. Crop Science. 37: 172-181.
- Pardey P., Koo B., Drew J., Horwich J., Nottenburg C. (2013). *The evolving landscape of plant varietal rights in the United States, 1930–2008*. Nature Biotechnology 31: 25-29.
- Powers L. (1945). *An expansion of Jones's theory for the explanation of heterosis*. American Naturalist 78:275–280. pp. 332-335.

- Rossi D.O. (2007). *Evolución de los cultivares de maíz utilizados en la Argentina*. Disponible en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/22/1AM22.htm>. Último acceso: 24 de Julio de 2015.
- Russell W.A. (1991). *Genetic improvement of maize yields*. *Advances in Agronomy* 46:245-298.
- Semagn K., Beyene Y., Warburton M.L., Tarekegne A., Mugo S., Meisel B., Sehabiague P., Prasanna B.M. (2013). *Meta-analyses of QTL for grain yield and anthesis silking interval in 18 maize populations evaluated under water-stressed and well-watered environments*. *BMC Genomics* 14:1-16.
- Shull G.H.(1908). *The composition of a field of maize*. *American Breeders' Association* 4: 296– 301.
- Springer N.M., Stupar R.M. (2007). *Allelic variation and heterosis in maize: how do two halves make more than a whole?*. *Genome* 17:264– 275.
- Stuber C.W., Lincoln S.E., Wolff D.W. Helentjaris T., Lander E.S. (1992). *Identification of genetic factors contributing to heterosis in a hybrid from two elite maize inbred lines using molecular markers*. *Genetics* 132: 823-839.
- Tollenaar M. (1991). *Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988*. *Crop Science* 31:119-124.
- Tollenaar M., Ahmadzadeh A., Lee E.A. (2004). *Physiological basis of heterosis for grain yield improvement in maize*. *Crop Science* 44:2086–2094.
- Tollenaar M., Dwyer L.M. (1999). *Physiology of maize*. En: *Crop yield, physiology*
- Tollenaar M., Lee E.A. (2002). *Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize*. *Field Crops Research* 75: 161-169.
- Tollenaar M., Lee E.A. (2006). *Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis*. *Maydica* 51: 399-408.
- Tollenaar M., McCullough D.E., Dwyer L.M. (1994). *Physiological basis of the genetic improvement of corn*. En: *Genetic improvement of field crops*. G.A. Slafer (Ed.). pp.183-236.
- Troyer A.F. (2006). *Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids*. *Crop Science* 46:529–543.
- Tuberosa R., Sanguineti M.C., Landi P., Salvi S., Casarini E., Conti S. (1998). *RFLP mapping of quantitative trait loci controlling abscisic acid concentration in leaves of drought-stressed maize (Zea mays L)*. *Theoretical and Applied Genetics* 97.744-755.
- Valentinuz O.R. (2014). *Maíz: uniformidad de plantas y tolerancia al estrés*. Disponible en: http://asociaciondespertar.com.ar/vertext/vertext_print.asp?id=38211&se=12. Último acceso: 24 de Junio de 2015.
- Valentinuz O.R., Tollenaar M. (2004). *Vertical profile of leaf area and leaf senescence during the grain-filling period in maize*. *Crop Science* 44: 827-834.
- Williams W. (1959). *Heterosis and the genetics of complex characters*. *Nature* 184: 527-530.
- Ying J., Lee E.A., Tollenaar M. (2002). *Response of leaf photosynthesis during the grain-filling period of maize to duration of cold exposure, acclimation and incident PPFD*. *Crop Science* 42: 1164-1172.

CAPÍTULO 11

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

*Silvina Golik, Silvina Larran, Guillermo Gerard,
Juan Pablo Uranga y María Constanza Fleitas*

Importancia

El cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) es el quinto cereal más importante del mundo, por volumen de producción y superficie cultivada detrás del maíz, arroz, trigo y cebada. Es el tercer cereal más utilizado en la alimentación humana en el mundo, siendo aproximadamente el 75% de su producción consumido por las personas (FAOSTAT, 2017)

A nivel mundial se pueden distinguir dos grandes zonas de producción y utilización. Una que incluye a países desarrollados y algunos países de América Latina como el caso de Argentina en los que predomina la producción destinada principalmente a la alimentación del ganado. En este sistema se utilizan en general semillas híbridas, fertilizantes y tecnologías mejoradas que permiten alcanzar rendimientos medios que oscilan entre las 3 y las 5 toneladas por hectárea, e involucra menos del 15 % de la superficie mundial de sorgo, pero más del 40 % de la producción mundial. El 85 % restante de la superficie cultivada y/o 60 % de la producción de sorgo corresponden a países en desarrollo, principalmente de Asia y África, en los que el sorgo se destina principalmente a la alimentación humana (constituyendo más del 70% de las calorías de sus dietas). Este cultivo continua siendo la principal fuente de energía, proteínas, vitaminas y minerales para millones de los habitantes más pobres de tales regiones. En ellas, el cultivo se realiza en pequeñas explotaciones agrícolas familiares que practican una agricultura de mera subsistencia. Si bien, en los últimos años se han comenzado a introducir variedades mejoradas, particularmente en Asia, por lo general el cultivo es menos intensivo, el uso de fertilizantes es escaso y la aplicación de tecnologías limitada. Por ello, el rendimiento medio oscila en muchas de estas zonas entre 0,5 y 1 toneladas por hectárea (FAO e ICRISAT 1997).

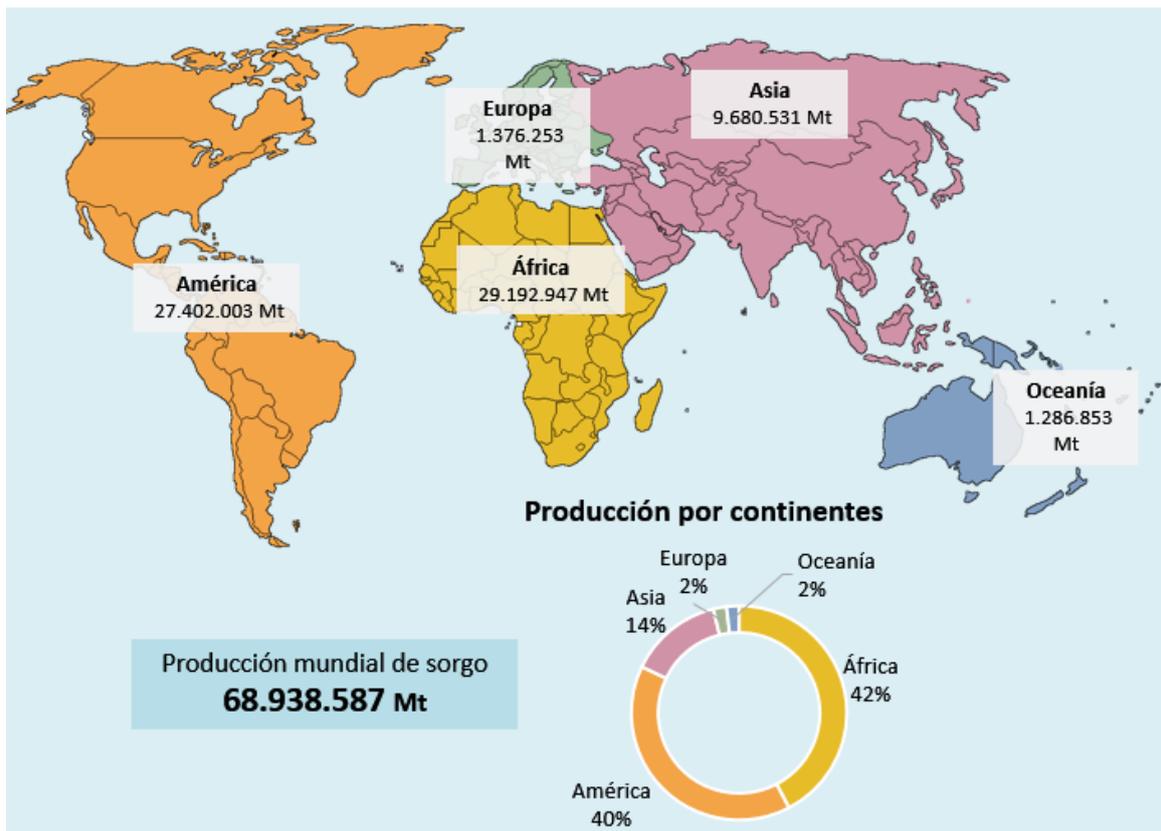


Figura 11.1. Producción mundial de sorgo en millones de toneladas (Mt) y por continentes en Mt y en porcentaje del total de la producción mundial (Fuente: FAOSTAT, 2017)

Origen

Científicamente no se ha podido confirmar con precisión en qué época comenzó el sorgo a ser planta cultivada, sin embargo algunas evidencias permiten establecer que este cereal fue uno de los primeros domesticados por el hombre.

El sorgo parece ser originario de África central y oriental, entre los años 5000 y 7000 a. C., probablemente de Etiopía o Sudán, donde crecen gran diversidad de tipos silvestres (importante fuente de germoplasma para programas de mejora). El dato arqueológico más antiguo corresponde a una escultura asiria de aproximadamente el año 700 a. C. en el actual Iraq. Al comienzo de la era cristiana, el cultivo era conocido en la India, y Plinio lo menciona en el siglo I d.C. en Roma, procedente de esa región. Existen ciertas evidencias de que surgió en forma independiente, tanto en África como en la India. El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente hacia el año 60 d.C. pero no se extendió mucho, citándose posteriormente a finales de la edad media. En América, el sorgo fue introducido a través de semillas llevadas por los esclavos negros procedentes de África, probablemente a través de las Antillas en los siglos XVIII y XIX. En Estados Unidos, fueron introducidos diferentes tipos de sorgo de la India, Egipto, Sudán y Sudamérica, entre finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

Sistemática y clasificación

El sorgo pertenece a la Familia de las Gramíneas, subfamilia Panicoideas y Tribu Andropogoneas. Sus cañas son herbáceas o subleñosas, de floración anual. Láminas lineares o estrechamente lanceoladas y no articuladas con la vaina. Raquilla articulada debajo de las glumas, de modo que éstas caen junto con las lemmas y los granos a la madurez. Espiguillas con 1 ó 2 flores, con un solo grano que proviene de la flor superior. Lemma de la flor fructífera hialina; glumas coriáceas o cartilagosas, más consistentes que las glumelas, a las que cubren totalmente.

Dentro de la Tribu Andropogoneas se presentan los géneros MISCANTHUS SACCHARUM – HYPARRHENIA – VETIVERA – CYMBOPOGON - SORGHUM.

El género *Sorghum* se diferencia de los restantes por presentar panoja con ramas tenaces y sin espiguillas floríferas en la parte basal. Espiguillas sésiles fructíferas y turgentes, acompañadas por una espiguilla pedicelada masculina o estéril. Plantas anuales o perennes, mayores de 1 metro.

Existe gran diversidad de tipos de sorgo al ser un género muy amplio y polimorfo.

La clasificación más completa que existe del género *Sorghum* fue realizada por Snowden en 1936, en la que describe 31 especies y que posteriormente amplió describiendo 21 especies más correspondientes a la subsección *Halepensis*. Las 52 especies incluyen a las silvestres, malezas, forrajeras y graníferas. Esta compleja clasificación tiene en cuenta los niveles de poliploidía y características morfológicas.

Género	Sección	Subsección	Serie	Subserie	Especies	Grupo	
Sorghum	Eusorghum	Arundinacea (n=10)	Spontanea		<i>S. virgatum</i> <i>S. aethiopicum</i> <i>S. arundinaceum</i> <i>S. verticilliflorum</i> <i>S. sudanense</i>		
				Sativa	Guineensia	<i>S. guineense</i> <i>S. roxburghii</i>	Shallu
					Nervosa	<i>S. membranaceum</i> <i>S. nervosum</i>	Kaoliang
					Bicoloria	<i>S. bicolor</i>	
					Caffra	<i>S. caffrorum</i> <i>S. caudatum</i>	Kafir-hegari Feterita
			<i>S. nigricans</i>				
			Durra	<i>S. durra</i> <i>S. subglabrescens</i>	Durra Milo		
				Halepensis (n=20)	<i>S. propinquum</i> <i>S. halepense</i> <i>S. almun</i>	(n=10)	
			Parasorghum		<i>S. purpurea-sericeum</i> <i>S. versicolor</i> <i>S. nitidum</i>	(n=5) (n=5) (n=5 y 10)	

Figura 11.2. Clasificación sistemática de los sorgos de Snowden (1936)

Snowden divide al género en dos secciones: *Eusorghum* y *Parasorghum*. La sección *Parasorghum* agrupa a especies herbáceas silvestres de 5 cromosomas haploides ($n=5$), y la sección *Eusorghum* se divide en dos subsecciones: *Arundinacea* ($n=10$), que incluye tanto a especies cultivadas para grano y forraje y sorgos silvestres; y subsección *Halepensis* ($n=20$), que engloba al sorgo de alepo y otras especies perennes.

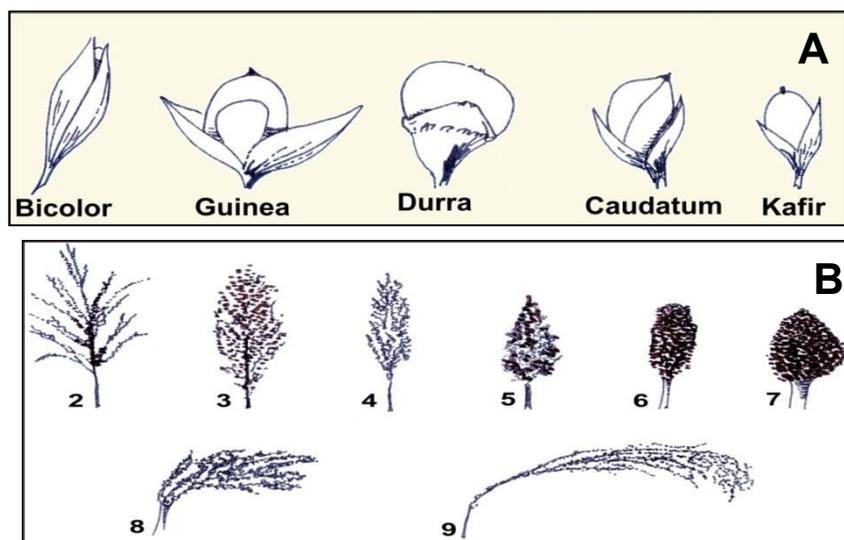


Figura 11.3. **A.** Tipos básicos de espiguillas y **B.** de panojas de sorgo cultivado. (El tipo 1 corresponde a razas silvestres y son considerablemente más difusas que el tipo 2). Adaptado de Harlan & de Wet (1972)

La subsección *Arundinacea* a su vez se divide en dos series: Serie *Spontanea* (sorgos silvestres) y Serie *Sativa* (sorgos cultivados y forraje). Esta última se divide en cinco subseries: *Guineensis*, *Nervosa*, *Bicoloria*, *Caffra* y *Durra* que incluyen diferentes especies (Fig. 11.2).

Snowden (1955) indica como antecesores de los sorgos cultivados (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) a formas silvestres con igual número cromosómico que ubica dentro de la subserie *arundinacea*.

En 1972, Harlan & de Wet presentaron una clasificación simplificada de los sorgos cultivados, basada en caracteres morfológicos de las espiguillas (7 clases) y de las panojas (9 clases) considerando que los sorgos cultivados para grano corresponden a una sola especie (*Sorghum bicolor*).

Tipos de espiguillas: Se clasifican siete tipos básicos: tipo silvestre; de raquis quebradizo; bicolor; guinea; caudatum; kafir y durra (Fig. 11.3 y 11.4).

Tipos de panoja: De acuerdo a los tipos de panojas se clasifican en 7 clases incluyendo las muy abiertas o laxas de los tipos silvestres hasta las muy compactas de los tipo durra y 2 clases para las formas corimbosas (Figs. 11.3 y 11.5).



Figura 11.4. Fotografías de tipos básicos de espiguillas de sorgo. Fuente: Walters & Southwick (2012a, b, c) y Southwick (2012) respectivamente



Figura 11.5. Fotografías de tipos básicos de panojas de sorgo. Fuente: Greb (2003), Holmes (2009) y Amakpe (2011) respectivamente

En general, los tipos de panojas se correlacionan con la morfología de las espiguillas. Así, las tipo bicolor y guinea son encontradas en las panojas más abiertas (tipos 2, 3 y 4); kafir y durra tienden a estar más asociadas a panojas compactas (tipos 5, 6 y 7). Las espiguillas de caudatum se hallan en un amplio rango de panojas y las bicolor se corresponden a las formas corimbosas.

En base a este criterio, Harlan & de Wet (1972) establecieron dentro de *S. bicolor* (raza cultivada: *S. bicolor* ssp. *bicolor*) las siguientes razas:

Razas básicas: Raza (1) bicolor (B) Raza (2) guinea (G)

Raza (3) caudatum (C) Raza (4) kafir (K) Raza (5) durra (D)

Razas intermedias: (combinaciones de razas básicas)

Raza (6) guinea-bicolor (GB) Raza (7) caudatum-bicolor (CB) Raza (8) kafir-bicolor (KB)
 Raza (9) durra-bicolor (DB)
 Raza (10) guinea-caudatum (GC) Raza (11) guinea-kafir (GK)
 Raza (12) guinea-durra (GD) Raza (13) kafir-caudatum (KC) Raza (14) durra-caudatum (DC) Raza (15) kafir-durra (KD)
Razas espontáneas: Sorghum bicolor ssp. arundinaceum
 Raza (1) arundinaceum
 Raza (2) aethiopicum
 Raza (3) virgatum
 Raza (4) verticilliflorum
 Raza (5) propinquum
 Raza (6) shattercane

Esta clasificación es clara y sencilla y prácticamente todos las variantes de sorgos cultivados pueden ser considerados en las 5 razas y sus combinaciones intermedias. Asimismo, las razas son fácilmente identificables por la morfología de las espiguillas solamente.

A continuación se presentan las características de las razas básicas:

Raza bicolor: Presenta panojas abiertas; glumas largas y envolventes; grano alargado y bastante simétrico, expuesto en no más de un cuarto en la parte superior. Estos caracteres son considerados primitivos y se estima que este grupo es de los cultivados, el más cercano a los sorgos silvestres. La raza es compleja y heterogénea e incluye varias subrazas distintas: pasto del Sudán, sorgos azucarados, sorgo de escoba, etc. Existiendo formas de tallos dulces y delgados, aptas para la extracción de jarabes y malezas, usadas como forrajes en forma directa y/o en el ensilado. Los sorgos de este tipo son deficitarios en producción de grano y no presentan características distintivas de distribución geográfica o adaptación ecológica. Sus razas intermedias son de poca importancia, siendo durra-bicolor la más trascendente.

Raza guinea: Presenta glumas largas y panojas abiertas; los granos achatados dorso-ventralmente, se ubican a la madurez en un ángulo cercano a los 90° respecto al eje de las glumas, las cuales permanecen abiertas.

Muchas formas de esta raza se caracterizan por presentar granos duros, córneos o vítreos resistentes a la acción de insectos, agentes climáticos desfavorables y condiciones precarias de almacenaje. Ellas son cultivadas generalmente en áreas de elevadas precipitaciones. Las razas intermedias de mayor importancia son: guinea-caudatum y guinea-kafir.

Raza caudatum: Es una de las más importantes, al igual que sus intermedias. De kafir-caudatum derivan muchos de los híbridos comerciales. Se caracterizan por conferir alta capacidad de rendimiento y buena calidad de grano. El grano es marcadamente asimétrico, el lado próximo a la gluma inferior es ligeramente plano, mientras que el opuesto es redondeado o combado. Las glumas adosadas al grano cubren la mitad o menos del mismo. Los tipos de panoja más compacta están confinados a las zonas más secas y los tipos abiertos o laxos son más comunes en áreas de alta precipitación.

Raza kafir: Es muy importante, al igual que sus intermedias y derivadas ya que aportan buenas características agronómicas. Sus espiguillas no tienen características especiales (granos simétricos, medianos, más o menos esféricos, con glumas envolventes de longitud variable) y se presentan en panojas semicompactas a compactas.

Raza durra: Incluye formas de ciclo largo y también los materiales más precoces, resistentes a la sequía por tolerancia o evasión. Tiene panojas compactas y semicompactas, con granos redondos-ovados, más anchos en la parte media y en forma de cuña angosta en la base. La raza intermedia más importante es durra-caudatum.

Existe una **clasificación utilitaria** de los sorgos en función de su destino principal o utilización. Así, los graníferos se caracterizan por la cantidad y calidad de sus granos y la facilidad con que se trillan. De esta forma se diferencian siete grupos con características agronómicas y de adaptación a diferentes situaciones geográficas en común, aunque no morfológicas o sistemáticas. Se pueden asimilar al concepto de poblaciones o ecotipos.

Kafir: Están muy representados en Uganda, Tanzania y Sudáfrica. Los individuos que responden a las características de este grupo poseen una buena altura, entre 1,35 y 2,70. Son plantas erectas con tallos más bien gruesos, que adelgazan hacia el ápice, con macollaje variable. La médula puede ser seca o jugosa. Poseen entre 13 y 15 hojas, relativamente grandes, de color verde oscuro. Las panojas generalmente son cilíndricas, compactas o semicompactas; el largo del pénduculo es variable, pero su excursión por lo general, es buena, superior a la del resto de los grupos. Los granos son de tamaño mediano, ovoides, de buena textura, pudiendo presentar distintos colores (blancos, rosados o rojos). El color de las glumas varía del pajizo o blanco-amarillento al negro; en la misma panoja se pueden presentar diferentes colores, siendo las lemmas místicas.

Hegari: Comparten la distribución con Kafir pero con tallos más delgados, jugosos y dulces. Presentan abundantes macollas y hojas, por lo que resultan aptos también para su uso forrajero. Sus panojas son erectas, semicompactas, de forma elíptica, con abundancia de granos cerca de los extremos de las ramificaciones. Los granos son de tamaño mediano, color blanquecino, ligeramente moteados y de aspecto yesoso.

Feterita: Se encuentra presente en una amplia zona desde Chad a Mozambique. Son plantas de hábito erecto, bastante vigorosas. Sus tallos presentan poco adelgazamiento en el extremo superior; son medulosos, secos variando su altura en 1,50 y 1,80 m. Tienen de 8 a 9 hojas de largo medio. Generalmente dan abundantes macollas, siendo las panojas de éstas, de mayor altura que la del tallo principal. Presentan buena excursión, con panojas algo compactas. Sus granos son muy granos, de color tiza a blanco azulado, de textura blanda, con tendencia al desgrane en madurez y fácilmente dañables por los factores climáticos si permanecen en el campo. Sus variedades son sumamente precoces, lo que les permite evadir con facilidad las sequías, sobre todo para la producción de grano en siembras tardías.

Milo: Tienen una gran difusión en Sudán y Etiopía. Son plantas de hábito semierecto; tallos relativamente gruesos, medulosos y secos, de altura variable entre 1,00 y 1,80 m, con buen macollaje. Presentan de 8 a 10 hojas distribuidas uniformemente, algo cortas y angostas, con

una nervadura central amarilla característica. Las panojas son normalmente compactas; pueden ser aristadas; de pobre excersión, siendo común que adquieran forma colgante o péndula. Los granos son grandes, de textura media, de color blanco, blanco-amarillento o castaño.

Durra: Comparte con Feterita la zona de Sudán y Etiopía y se extienden hacia el N de África y cercano y medio oriente. De hábito preferentemente semierecto, tienen tallos que alcanzan alturas de 1,20 a 1,80 m, de grosor mediano, con médula seca y macollaje reducido. Sus hojas son verde oscuro, cortas anchas- hay formas de ciclo largo también muy precoces. Las panojas generalmente son cortas y muy compactas, pueden presentar frecuentemente defectos de excersión. Este grupo se caracteriza por su mayor pilosidad en el raquis y ramificaciones de la panoja y glumas. Los granos son bastante grandes, algo aplastados, de color blanco a castaño, firmemente encerrados entre las glumas, que son blancos verdosas.

Kaoliang: Predominan en Asia Oriental. Son plantas que pueden alcanzar más de 2 m de altura; tallos largos algo delgados, rígidos, duros, con médula seca y poco macollaje. Sus panojas son de diversos tipos (largas más o menos abiertas o comprimidas, cilíndricas y erectas) de pocas ramificaciones y deficiente excersión. Los granos son bastante grandes, de forma elíptica, de color blanco, rojo castaño, cubiertos en sus $\frac{3}{4}$ partes por glumas de color rojo oscuro a castaño, presentando normalmente, lemmas aristadas.

Shallu: Predominan en la India y el occidente tropical africano, Nigeria, Camerún, Gabón. Sus tallos son delgados y secos, con altura de 1,50 a 2,40 m, de macollaje abundante. Se adaptan a condiciones de alta humedad durante el ciclo vegetativo.

Clasificación de los sorgos en Argentina de A. Burkart y L.R. Parodi (1959)

A.- Plantas perennes provistas de rizomas estoloniformes. Plantas tetraploides ($2n=40$). Glumas aovado-lanceoladas incluyendo totalmente el grano. Sección Halepensis.

1.- Espiguillas sésiles, fácilmente caedizas a la madurez por desarticularse en su base. Glumas de 4-5 mm de largo. Rizomas largos y abundantes, indefinidos. Plantas muy invasoras, láminas de 1-2cm de ancho.....*S. halepense* (Sorgo de Alepo)

2.- Espiguillas sésiles, persistentes sobre la panoja o caedizas por ruptura del raquis, quedando en su base un fragmento de éste en forma de pedicelo. Glumas de 5-7 mm de largo. Rizomas cortos, escasos, definidos y ascendentes, apartándose poco de la mata. Cañas floríferas de 2-3 m de altura, con láminas foliares de 2,5-5 cm de ancho.....*S. almun* (Sorgo negro).

AA.- Plantas anuales o bienales, excepcionalmente perennes, sin rizomas estoloníferos. Granos incluidos en las glumas o sobresaliendo parcialmente de ellas. Plantas diploides ($2n=20$). Sección Arundinacea.

1.- Los granos maduros quedan encerrados en las glumas o sobresalen apenas en la parte extrema.

a.- Eje de la panoja alargado y siempre mayor que las ramas laterales, de manera que aquella es piramidal, oblonga u ovalada. Láminas lanceoladas, estrechas, ordinariamente menores a 2,5 cm de ancho. Matas anuales multicaules. Glumas lanceoladas coriáceas, con pelos en el dorso, verdosas, violáceas, pajizas o castañas, de 6-7 mm de largo por 2-2,5 mm de ancho*S.sudanense* (Sorgo azucarado).

b.- Eje de panoja corto, por cuya causa adquiere aspecto corimboso, alcanzando en total 30-50 cm de largo. Médula seca o escasamente jugosa*S. technicum* (Sorgo de escobas o maíz de Guinea).

2.- Los granos maduros emerge de las glumas de manera que éstas sólo cubren la mitad de aquellos. Granos globosos.

a.- Cariopses en posición oblicua con respecto a las glumas. Panoja laxa con ramas péndulas al madurar los granos.....*S. roxburghi* (Sorgo Shallu).

b.- Cariopses transversales. Panoja contraída y compacta. Ejes secundarios péndulos al madurar.....*S. caffrorum* (Sorgos Kafir, Hegari)

Morfología

Sistema radical

El sorgo tiene un sistema radical fibroso como la mayoría de las gramíneas. La primera raíz se desarrolla a partir de la radícula de la semilla. De esta raíz derivan raíces laterales a lo largo. El **sistema seminal** puede funcionar durante toda la vida de la planta, pero deja de ser importante después que las raíces permanentes comienzan a funcionar.

Las **raíces adventicias** son permanentes. Nacen de la zona de la corona, de los nudos basales cuyos entrenudos no desarrollan. Los verticilos de las raíces adventicias constituyen la corona radical. Éste manojito de raíces continúa creciendo hasta la etapa de formación de la panoja. Las raíces del sorgo son más ramificadas que las del maíz y pueden formar el doble de raicillas laterales en cualquier etapa de su desarrollo. En general, existe una mayor relación raíces/parte aérea que en el maíz, siendo ésta una de las causas de la mayor resistencia del sorgo a la sequía. A partir de los 20-25 cm de profundidad las raíces laterales decrecen. Existe un tercer tipo de raíces llamadas de **anclaje o sostén** que se desarrollan inmediatamente por encima de las raíces permanentes, en los nudos sobre el nivel del suelo, por lo común no llegan a introducirse en el suelo, son mucho más gruesas que las normales y generalmente son de color verde.

El sistema radicular del sorgo puede penetrar, según el tipo de suelo, hasta 1,50 m de profundidad, aunque en la mayoría de los casos se ubica en los 0,60 m superiores del suelo, con una mayor concentración en los 0,25 m superficiales.

Tallo

El tallo del sorgo está compuesto, como el de todas las gramíneas, de nudos y entrenudos, cuyo número puede variar entre siete y doce, lo que coincide con la cantidad de

hojas emitidas. Los entrenudos son más largos y uniformes en la parte media del tallo y más cortos en la base. El entrenudo terminal, que lleva la panoja es generalmente el más largo.

Los cultivares modernos y especialmente en nuestro país miden entre 1,2 y 1,6 m; si bien algunos sorgos cultivados en África alcanzan los 2,6 m.

El diámetro del tallo varía entre 0,6 y 5 cm. dependiendo principalmente de la densidad de plantas y del genotipo. Los tallos son macizos, pero la parte central se vuelve frecuentemente esponjosa y fistulada. Muchas veces, la parte exterior del tallo puede estar cubierta con una gruesa capa de cera que puede ocultar su color verde. Por lo general, el entrenudo presenta estrías en la parte más cercana a la hoja (Bennett & Tucker, 1986).

En la base de cada entrenudo se inserta una yema axilar, en forma alterna, contraria a la hoja correspondiente. Bajo ciertas condiciones, las yemas axilares de las partes superiores del tallo pueden activarse y producir **ramificaciones laterales**, aunque esto generalmente ocurre luego que el tallo principal ha formado la panoja. Aparentemente la dominancia apical ejercida por la panoja, impide el desarrollo de las yemas axilares, imitando su número. En casos en que la yema apical sea dañada, por ejemplo por el barrenador del tallo (*Diatraea sacharalis*) o eliminada, se produce el desarrollo de las ramificaciones laterales. Condiciones de buena humedad y bajas densidades de plantas también pueden favorecer su producción, que en los sorgos graníferos se inicia primero en las yemas superiores y luego sigue hacia abajo.

En general, las ramificaciones laterales son indeseables, ya que no llegan a madurar junto con el tallo principal, produciendo problemas de cosecha (Wall & Ross, 1975).

En las yemas axilares de la base del tallo aparecen los **macollos**. Algunos cultivares macollan profusamente bajo condiciones ambientales favorables. Los tipos Hegari y Feterita macollan más abundantemente que el tipo Milo. La capacidad de macollaje de los híbridos modernos se relaciona con su origen y se expresa en función de las condiciones ambientales y de manejo. La adecuada combinación de estos factores favorece la maduración pareja de los macollos. De lo contrario se pueden producir inconvenientes durante la cosecha por desuniformidad en altura y madurez.

Hojas

Las hojas del sorgo son dísticas, alternas y nacen de los nudos, usualmente en un número de siete a doce, dependiendo de la longitud del periodo vegetativo. El tamaño de la lámina es de 100 cm de largo y está dividida por una nervadura central. En general se considera que por cada hoja adicional que se forma, se atrasa el ciclo entre 3 y 4 días.

Todas las hojas se desarrollan durante las primeras tres a cuatro semanas del crecimiento, mientras el ápice está en estado vegetativo. Aunque puede conservarse la aparición de hojas hasta poco antes del panojamiento, las mismas se desarrollan durante la etapa vegetativa.

En la base de cada hoja hay una vaina larga, que en los cultivares bajos se superponen. Los bordes de las hojas son aserrados. Las hojas del sorgo tienen células motoras que se localizan cerca de la nervadura central, en la cara superior de la hoja. Estas células facilitan un rápido enrollamiento de la lámina durante los periodos de escasez de humedad.

Las hojas del sorgo tienen un 50% más de estomas por unidad de superficie que las del maíz, pero de menor tamaño, siendo el área estomática aproximadamente la misma. El comportamiento de los estomas y la facilidad con que se enrollan las láminas durante los periodos de sequía son otras de las causas de la superioridad del sorgo con respecto al maíz. Además, la capa de cutina que recubre la planta puede retardar la desecación durante los periodos de sequía.

La última hoja se denomina bandera y la expansión de su lámina permite la excursión de la panoja.

Inflorescencia

Es una panoja que puede ir de compacta a laxa, pasando por todos los estados intermedios. Su forma depende del largo del eje central y el de las ramificaciones. Cuando el eje central es reducido o corto, la panoja adquiere forma corimbosa como en *S. technicum*. En casi todos los cultivares, el eje principal o raquis se angosta hacia el ápice perdiendo su identidad.

Los nudos del raquis son generalmente pilosos y en ellos desarrollan ramificaciones laterales que pueden llegar a ser hasta de tercer orden. En general las últimas soportan los pares de espiguillas. En las axilas de las ramificaciones existen pulvínulos que, por variaciones de turgencia de sus células, pueden provocar movimientos, contrayendo o expandiendo las ramificaciones laterales, de acuerdo con las condiciones climáticas.

En su mayoría, las espiguillas se presentan apareadas. Cada par de espiguillas está formado por una sésil o sentada que es la hermafrodita y granífera, y otra pedicelada que es estaminada, aunque rara vez produce polen (Bennett & Tucker, 1986).

La espiguilla sésil está formada por dos glumas papiráceas o crustáceas, generalmente pubescentes, coloreadas y mayores que las glumelas. La gluma exterior puede presentar un número variable de nervaduras, pero de éstas solo dos son permanentes, ubicadas una a cada lado de la bráctea. La gluma inferior es algo más angosta y posee solo una nervadura central. Está compuesta por dos flores, una inferior rudimentaria, representada originariamente por una lemma y la flor superior, hermafrodita, que presenta una lemma bifida en el ápice. En su nervadura central nace una arista que se genicula en la parte central. El androceo está compuesto por tres estambres, el gineceo por un ovario globoso, estilo corto y estigma bifido y plumoso. En esta flor también se suelen hallar lodículas pilosas.

La espiguilla pedicelada está limitada por un par de glumas. En su interior se encuentran dos flores; una inferior estéril y rudimentaria y otra superior normalmente estaminada.

En el tercio superior de la panoja se suelen presentar tres espiguillas: dos laterales pediceladas y una central sésil y granífera.

La floración ocurre generalmente por la noche o la mañana. Las primeras flores en abrir son las del tercio superior de la panoja avanzando en sentido descendente. La duración total de la floración de una panoja varía entre 6 a 9 días, pudiéndose alargar el periodo cuando la temperatura no es la adecuada.

Durante la floración, las glumelas son forzadas a abrirse por expansión de las lodículas, emergen los estigmas y se alargan los filamentos. Las anteras comienzan su dehiscencia al ponerse péndulas y al estar en contacto con los estigmas ya receptivos, ocurre la autopolinización (Wall & Ross, 1975).

La polinización entre flores de una misma panoja es frecuente y además existe un 6% de polinización cruzada. La floración de cada espiguilla se completa en pocos minutos. La producción de polen de una panoja de sorgo es muy elevada y a diferencia del maíz, tiene corta viabilidad, 1 a 3 horas. Los estigmas pueden estar receptivos desde uno o dos días antes de la floración hasta una o dos semanas posteriores, influyendo las condiciones climáticas. Entre las 2 y 4 horas posteriores a la polinización ocurre la fecundación.

Técnicas de autofecundación e hibridación

La autofecundación artificial se realiza fácilmente, cubriendo la panoja con una bolsa de papel, luego de su emergencia de la vaina foliar, previo a la antesis. Esa bolsa se puede dejar en la panoja hasta que la semilla madure o retirarse una vez finalizado el período de floración.

Para una hibridación segura se elige un pequeño ramillete de la panoja próximo a floración; se eliminan las flores pediceladas y las anteras de cada flor sécil. Luego se aísla con un sobre de papel transparente y se deja hasta la antesis. En ese momento se extrae el sobre y se poliniza con el progenitor masculino elegido, espolvoreando sobre los estigmas expuestos. Posteriormente se vuelve a cubrir con el sobre.

Como por lo general se pueden distinguir los cruzamientos de las autofecundaciones (sobre todo cuando se conocen perfectamente los progenitores), es posible emplear otra técnica. Esta consiste en embolsar las panojas para acelerar la apertura de las flores. Cuando aún no se ha producido la dehiscencia de las anteras del progenitor femenino, se poliniza con la planta padre. Luego se vuelve a cubrir la panoja para evitar la fecundación con polen extraño. El cultivo de las semillas cosechadas sobre la planta madre, permitirá detectar las F1 provenientes de las autofecundaciones.

Grano

El grano es un cariopse anatómica y morfológicamente similar al del maíz y al de trigo, con formas, simetrías, colores y pesos variables según los tipos (Carrasco *et al.*, 2011). El color varía entre el blanco y marrón intenso, con matices intermedios. Está determinado por la pigmentación del pericarpio, la testa y el endosperma existiendo genes específicos para cada una de estas partes. La coloración es importante porque se haya asociada a comportamientos agronómicos, destino de la producción y posibilidades de almacenamiento y conservación. El pericarpio varía en su coloración de acuerdo a la presencia o no de genes específicos. Los genes (R-Y-), determinan que el pericarpio sea rojo, (rryy) blanco o (rrY-) amarillo limón. El gen intensificador (I-) afecta la intensidad del color del pericarpio cuando los genes R-Y- están presentes. Por ejemplo, un grano con genes R-Y-I- parecerá rojo brillante comparado con el genotipo R-Y-ii.

El peso de 1000 granos de los híbridos graníferos es 35-40 g, de los forrajeros 22-25 g y entre 8 y 10 g el de los sorgos silvestres. El pericarpio representa aproximadamente el 5% del peso. Está constituido por el epicarpio, mesocarpio y endocarpio. El mesocarpio delgado y firme se asocia con un mejor comportamiento frente al deterioro del grano. En la semilla, se identifica un solo tegumento seminal, la testa y su presencia está relacionada con la coloración,, contenidos de taninos condensados (catequinas, flavonoides y leucoantocianinas) y dormancia. La presencia de la misma está controlada por un par de genes complementarios en condición dominante (B1 -B2-) (Fig. 11.6). Los sorgos con taninos condensados, toman una coloración marrón café “sorgos marrones” en el lapso de la maduración a cosecha, siendo fácilmente identificables (Chessa, 2001) y en general se utilizan en áreas con problemas de pájaros como resultado del sabor astringente de los mismos, durante los estados lechoso y pastoso de la maduración. También le confieren una mayor resistencia al enmohecimiento y deterioro del granocy brotado de la panoja

Los mismos presentan efectos anti-nutricionales ya que al asociarse con las proteínas reducen su disponibilidad, causando una pérdida del 10 al 30% del valor nutricional. El endosperma constituye el 80-85% del grano. Tiene una capa aleuronífera periférica y el parénquima amiloproteico. Este está constituido por una parte córnea y otra harinosa, de cuyas proporciones dependen en gran parte, la textura y conservación de los granos. El endosperma generalmente es blanco, si bien existen sorgos de endosperma amarillo, con pigmentación provocada por xantófilas y carotenos. Existen también algunos sorgos de endosperma azucarado (dextrinoso) o ceroso. El embrión representa aproximadamente el 10% del peso del grano y no tiene raíces seminales preformadas.

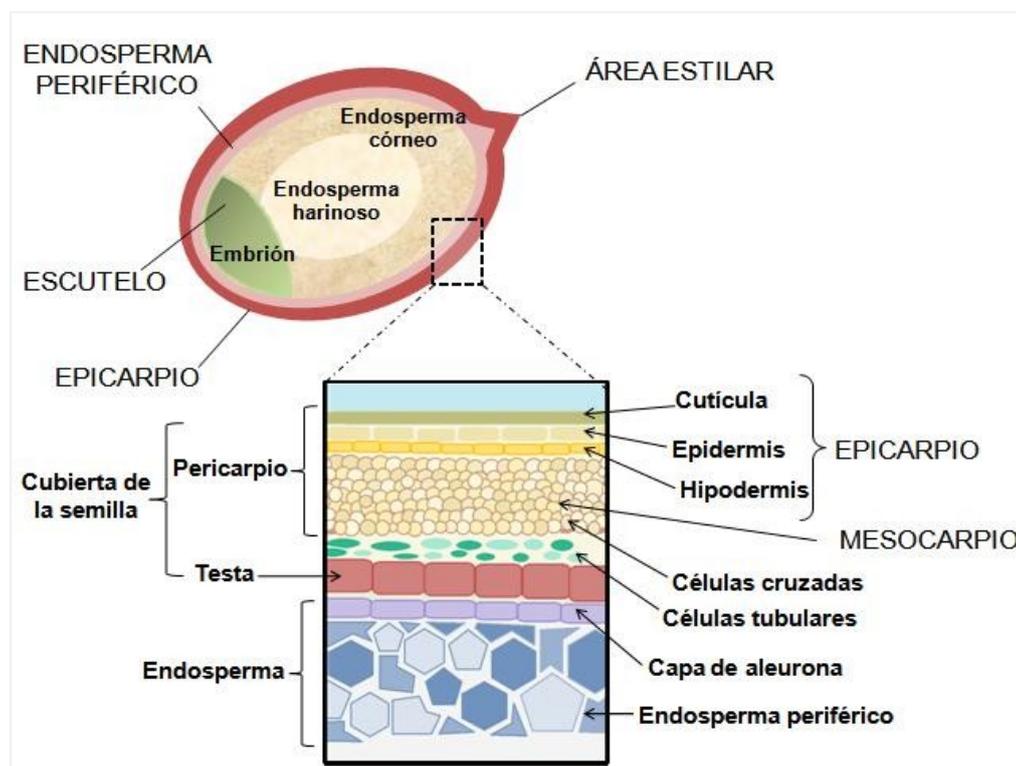


Figura 11.6. Estructura física del grano de sorgo.

Tabla 11.1. Composición química promedio del grano de sorgo y sus partes.
Valores expresados en porcentaje (%)

FRACCIÓN	PROMEDIO %
Humedad	12,0
Almidón	68,0
Proteínas	12,4
Lípidos	3,5
Fibra Bruta	1,5
Azúcares	1,5
Cenizas	1,5

Como en todos los cereales, los principales componentes del grano de sorgo granífero son almidón, proteínas y lípidos. También están presentes en menos cantidad fibras, azúcares minerales, vitaminas, pigmentos fenólicos y no fenólicos. El análisis aproximado es el siguiente:

Almidón

El almidón comprende el 83 % del endosperma, el 13,4 % del germen y el 34,6% del efrecho obtenido por separación manual de grano.

En los sorgos, al igual que en los otros cereales hay diferentes tipos de almidón. Una clase de éste, la amilosa, es un polímero de unidades de glucosa ligadas exclusivamente por enlaces \pm -1,4 dando una cadena lineal. Con el yodo forma un compuesto de color azul. La otra fracción es la amilopectina, que además de los enlaces \pm -1,4 tiene un 5% de enlaces \pm -1,6. Cuando se trata de yodo de color rojo.

Se ha comprobado que en variedades normales de sorgo granífero, el contenido de amilosa en el almidón oscila entre 23 y 28%, el resto es amilopectina. Se comprobó que ningún grano de sorgo tenía más de 28% de amilosa, en contraste con el maíz, en el que han aparecido granos de alto contenido. En las variedades cerosas de sorgo, todo el almidón está constituido por amilopectina.

En el endosperma córneo los gránulos de almidón son poliédricos y muy agrupados mientras que en el harinoso son redondos y distribuidos más al azar.

Proteínas

El grano de sorgo contiene poca lisina, treonina, metionina y tirosina. También contiene poca arginina, histidina y glicina, que son aminoácidos esenciales para algunos animales. El nivel de triptófano apenas se acerca a los requerimientos mínimos, pero es más elevado que en el maíz.

De acuerdo a su solubilidad se pueden clasificar en:

- 1) Albuminas: Solubles en agua

- 2) Globulinas: Solubles en soluciones salinas
- 3) Prolaminas: Solubles en soluciones de alcohol etílico
- 4) Gluteninas: Solubles en álcalis diluidos

En el sorgo la proporción de cada una de estas fracciones es:

% proteína base seca	albúminas	Globulinas	prolaminas	Residuos y gluteninas
10-19	1-8	2-9	32-59	19-37

Lípidos

Los lípidos del sorgo son importantes para la alimentación humana y animal pero, al oxidarse, pueden dar sabores desagradables y ranciedad a los productos alimenticios elaborados con él.

El contenido de lípidos en el grano entero es del 3,5% y las proporciones en sus fracciones son:

	% DE CADA FRACCIÓN	% LIPIDOS DEL TOTAL	% LIPIDOS
Pericarpio	5,5	1	4,9
Endosperma	83,4	13	0,6
Germen	11,1	76	28,1

La fracción mayor de lípidos esta compuesta por triglicéridos. También se hallaron cantidades menores de ceras y fosfolípidos.

Fibra Bruta

La celulosa es el principal constituyente de la pared celular del grano de sorgo y forma junto con las hemicelulosas y lignina lo que se denomina fibra bruta.

Azúcares

Compuestos por sacarosa, fructuosa y glucosa

Cenizas

Constituyen las sales minerales compuestas principalmente por los elementos: fósforo, potasio, magnesio y silicio.

Polifenoles

Que se pueden clasificar en: ácidos fenólicos, flavonoides y taninos condensados. Estos compuestos pueden afectar el color, la apariencia y el valor nutritivo del grano y sus productos. Todos los sorgos tienen ácidos fenólicos, la mayoría contiene flavonoides (antocianidinas, catequinas y leucoantocianidinas) y muchos cultivares (sorgos marrones)

taninos condensados (no hidrolizables), con las ventajas agrónomicas y desventajas nutricionales ya mencionadas. El efecto deletéreo del tanino en las raciones destinadas a dietas monogástricos y aves puede ser neutralizado mediante la utilización de destoxificadores, químicos o físicos. Puede aplicarse el descorticado del grano, aunque puede haber algo de pérdida de endosperma y germen. También se puede practicar el aplastado u obtención de hojuelas, previo tratamiento con temperatura y humedad, lo que rompe la estructura del grano facilitando su digestibilidad. El tratamiento húmedo con hidróxido de amonio u otras sustancias como úrea, amoníaco o formol, se emplea con diferentes resultados.

Bibliografía

- Amakpe F. (2011). *Sorghum bicolor*. Cercle nature et développement CENAD NG0, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5430607>. Último acceso: Julio de 2015.
- Bennett W.F. & Tucker B. (1986). *Prácticas culturales*. Producción moderna de sorgo granífero. 127 pp.
- Chessa A. (2001). *Calidad del sorgo granífero: su valor nutritivo depende del contenido de taninos condensados, aprendamos a reconocer su presencia*. Revista Forrajes y granos 3 pp.
- FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations e ICRISAT, International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics. 1997. *La Economía del Sorgo y del Mijo en el Mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas*. Roma, Italia. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/W1808E/W1808E00.htm>. Último acceso: Octubre de 2014
- FAOSTAT. (2017) Food and Agriculture Organization of the United Nations
<http://www.fao.org/faostat/en/#home> Último acceso: Julio de 2017
- Harlan J.R. & de Wet J.M.M. (1972). *A simplified classification of cultivated sorghum*. Crop Science 12: 172-176.
- Snowden J.D. (1955). *The wild fodder Sorghums of the section Eusorghum*. Journal of the Linnean Society of London 55: 191-260.
- Wall J.S. & Ross W.M. (1975). *Producción y usos del sorgo*. J.S. Wall & W.M. Ross. Editorial Hemisferio Sur. 399 pp.

CAPÍTULO 12

Sorgo: Crecimiento y desarrollo

Silvina Golik y María Constanza Fleitas

Crecimiento y desarrollo

Para un manejo adecuado del cultivo tendiente a obtener los rendimientos potenciales que los híbridos puedan alcanzar, es necesario comprender los procesos fisiológicos que ocurren en la planta relacionados al crecimiento y desarrollo de la misma, las condiciones ambientales que afectan ambos procesos y la utilización de los recursos edáficos por parte del cultivo.

De acuerdo a lo que se visualiza en el ciclo del cultivo (Fig. 12.1), el cultivo presenta tres fases de desarrollo con marcadas diferencias de crecimiento en cada una de ellas: EC1, EC2, y EC3 (Vanderlip, 1993; Geric *et al.*, 2003; Gambín & Batlla, 2012). Un híbrido de madurez media requiere aproximadamente 32 a 35 días para pasar a través de cada etapa, dependiendo del híbrido y las condiciones medioambientales. La mayoría de los híbridos actuales son poco sensibles al fotoperíodo (duración del día) durante la fase de diferenciación de número de hojas, es decir, su ritmo de desarrollo es impulsado principalmente por la temperatura. Por lo tanto, las variaciones en el número de hojas al modificarse las horas de luz (Ej. variación en la fecha de siembra) son mínimas para la mayoría de los cultivares actuales.

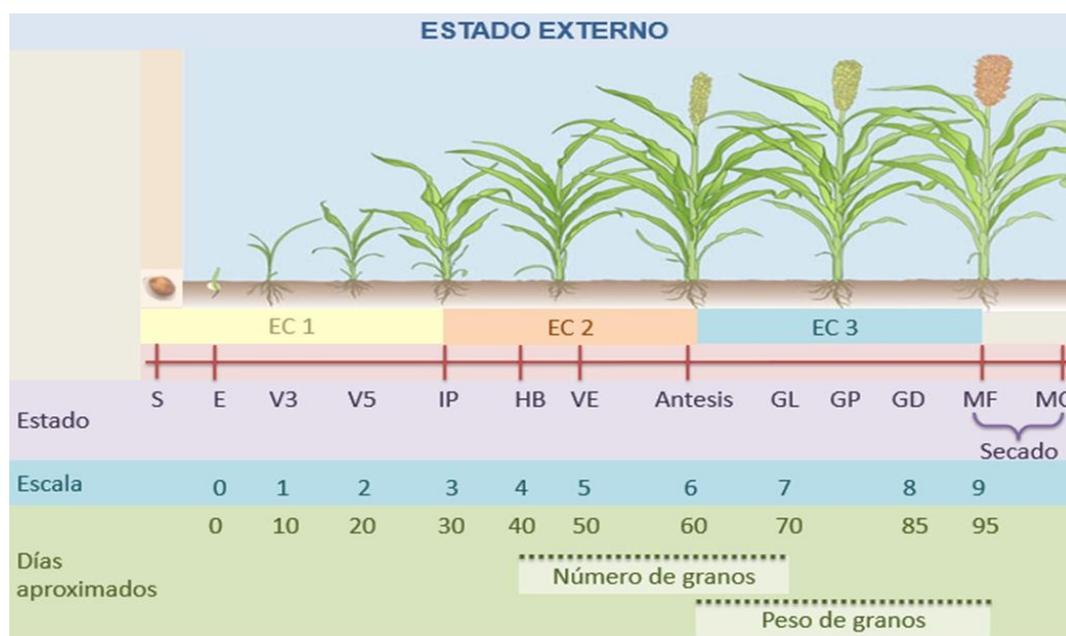


Figura 12.1. Etapas del desarrollo del sorgo granífero. S: siembra, E: emergencia, V3: tres hojas totalmente expandidas, V5: cinco hojas totalmente expandidas, IP: iniciación de la panoja, HB: hoja bandera visible, VE: vaina engrosada, Antesis, GL: grano lechoso, GP: grano pastoso, GD: grano duro, MF: madurez fisiológica, MC: madurez de cosecha.

La primera etapa de crecimiento (EC1)

Es una etapa vegetativa que abarca aproximadamente hasta los 30 días desde la emergencia (DDS), finalizando con la quinta hoja completamente expandida y el cambio de estado del ápice de crecimiento (inicio diferenciación de la panoja) (Vanderlip, 1993). Está caracterizada por la germinación-emergencia (estadio 0), desarrollo de la plántula (estadio 1, tres hojas desarrolladas) y estadio 2 (cinco hojas expandidas).

Esta primera etapa de crecimiento se caracteriza por el crecimiento vegetativo. La planta desarrolla sus estructuras vegetativas, las hojas y tallos, que terminarán soportando la formación y crecimiento del grano. Debido a que los híbridos modernos son poco sensibles a la duración del día, la duración de la EC1 en gran medida depende de la temperatura ambiente y el número de hojas genéticamente predeterminado para formar el tallo principal del híbrido. Cuanto más hojas para formar tenga el híbrido, se requiere más tiempo desde la siembra hasta la floración y en general mayor es su potencial para producir forraje y grano. Los híbridos de maduración temprana suelen producir quince hojas por planta, mientras que los híbridos de ciclo de maduración intermedios y largos pueden producir diecisiete o más hojas.

Los estadios dentro de la EC1 se determinan por el número de las hojas con collares visibles. Por ejemplo, en una planta en etapa de tres hojas, se pueden observar partes hasta de seis hojas, pero sólo tres con su collar visible (Pioneer, 2015).

Estadio 0 (Emergencia)

En sorgo esta etapa es muy crítica debido a los problemas de vigor que la hacen muy débil en el arranque. Para la germinación la temperatura óptima del suelo a 5 cm de profundidad debe ser de 18°C. Puede germinar con suelos más fríos (15-16°C), pero tanto la germinación como la emergencia serán lentas, poco uniformes y con plántulas débiles y antociánicas. La profundidad, temperatura del suelo, humedad y calidad de la semilla (sanidad y poder germinativo) afectan en gran medida el período de siembra a emergencia. Bajas temperaturas (< 18 °C en el suelo) y/o condiciones de anegamiento pueden favorecer la aparición de enfermedades que afectarán el stand de plantas. Es conveniente un suelo cálido y levemente húmedo para una rápida germinación y emergencia. El mayor efecto nocivo de las bajas temperaturas con humedad se da durante la etapa de imbibición-activación enzimática de la semilla (entrada de agua a la semilla). Este daño se conoce como “daño por imbibición en frío”, la entrada de agua fría a la semilla, produce daño en las membranas celulares, esto último más los exudados del contenido celular, facilita la entrada de hongos. En la medida que avanza el proceso de germinación la sensibilidad al frío disminuye (Pioneer, 2015). Si bien la temperatura ideal para la germinación y emergencia del sorgo es de 21 °C también puede ocurrir a 10°C (es dependiente del genotipo), pero a esa temperatura la misma se demora y se aumenta la probabilidad de “eventos de imbibición fría”. En siembras tempranas (principios de octubre) las emergencias podrían demorarse más allá de los 15 días, mientras que en las tardías (diciembre) no superarían los 3 días.

Una lenta aparición a menudo deriva en nacimientos irregulares y bajo stand de plantas. Durante la emergencia, la planta es totalmente dependiente de las reservas almacenadas en el endosperma de la semilla. Una lenta emergencia puede agotar estas reservas, que son importantes para el crecimiento temprano de las plantas en los días inmediatamente posteriores a la misma.

Debido al reducido tamaño de la semilla de sorgo, la formación de costras (planchado del suelo) de 0,6 a 1,2 cm. de espesor, obstaculizan su capacidad para emerger. En los suelos con alto contenido de arena fina y limo las costras se forman más fácilmente que en los suelos con arena gruesa y arcilla. En planteos de siembra directa se reduce significativamente la formación de costras del suelo.

En la etapa de implantación el sorgo no es un buen competidor con las malezas, especialmente las gramíneas. Aplicaciones de herbicidas pre-emergentes como cloroacetamidas (por ejemplo, metolaclor) son ampliamente utilizados para controlar las malezas gramíneas en el cultivo de sorgo, aunque esta práctica requiere que las semillas deban ser tratadas previamente con protectores de herbicidas (por ejemplo, Concep III) para evitar el daño del herbicida al sorgo (Pioneer, 2015).

Estadio 1 (tres hojas)

Este estadio ocurre alrededor de los 10 días después de la emergencia (Vanderlip, 1993). La tasa de crecimiento de la plántula depende de la temperatura por lo que es importante haber establecido una fecha de siembra acorde a las condiciones agroclimáticas de la subregión y los requerimientos del cultivo. Durante esta etapa el sorgo puede tolerar un alto grado de estrés, desde sequía, granizo y bajas temperaturas con un leve efecto adverso en el rendimiento, debido a que durante esta etapa el punto de crecimiento se encuentra aún debajo de la superficie por lo que la pérdida de hojas no causa necesariamente la muerte de la planta y puede recuperarse ante la disponibilidad adecuada de temperatura y humedad. Los insectos y plagas, si no son controlados, pueden dañar irreparablemente el cultivo. El tiempo muy seco y/o frío favorece el desarrollo de plagas dañinas como los pulgones y chinches. Sin embargo, en Argentina, el pulgón verde produce los daños en etapas reproductivas avanzadas. En ocasiones durante esta etapa vegetativa aparece el pulgón del maíz generalmente ubicado en el cogollo. Hay trabajos que recomiendan no controlarlo, ya que no produce saliva tóxica e incrementaría la población de enemigos naturales de áfidos. Si bien la posibilidad de aplicación de herbicidas post-emergentes es reducida, se recomienda seguir cuidadosamente las instrucciones de marbete para no causar daño al cultivo (Ejemplo: 2-4D). Tiempo frío y nublado por un período prolongado en EC1 pueden causar una coloración púrpura en las vainas y márgenes de las hojas, y a su vez se puede encontrar clorosis internerval (rayas amarillas). El color púrpura se produce por la acumulación de antocianinas en el tejido. Las causas pueden ser variadas: deficiencia, fósforo, frío, sequía, compactación, pero todas asociadas con la acumulación de azúcares en los tejidos que provocan la expresión de genes antociánicos que dan los colores púrpuras. El color en sí no es dañino, puede deberse a genotipos que naturalmente dan colores

antociánicos o a la expresión de que algo “ocurre” en ese momento puntual que está afectando a la utilización de los azúcares. Debemos interpretar correctamente la sintomatología, ya que si el color púrpura se debe al frío, esta coloración desaparecerá sin generar consecuencias. Ahora si esta coloración púrpura está indicando deficiencias de fósforo o compactación de suelo, sería esperable una merma de rendimiento. El rayado de las hojas podría ser causado por la captación insuficiente de hierro o de zinc (hay sólo estudios preliminares en Maíz). Los síntomas por lo general desaparecen cuando regresan las temperaturas favorables. Deficiencias de hierro y zinc serán más pronunciadas en suelos calcáreos.

Estadio 2 (cinco hojas)

Esta fase ocurre a unas tres semanas después de la emergencia (Vanderlip, 1993). El sistema radical crece rápidamente y las raíces producidas en los nudos inferiores pueden romper las vainas inferiores de la planta. El punto de crecimiento continúa debajo de la superficie, siendo el rebrote de la planta (ante la pérdida de área foliar por adversidades bióticas o abióticas) más vigoroso que en la fase anterior.

Cuando las plantas tienen entre cuatro y seis hojas, la ocurrencia de días largos y soleados con temperaturas por debajo de 18°C favorece la aparición de macollos en los nudos (Vanderlip, 1993). A su vez, un bajo stand de plantas también promueve el macollaje del cultivo. Las panojas de los macollos son más pequeñas y florecen algo más tarde que las del tallo principal, sin embargo en un sorgo con un buen manejo, el macollaje moderado es beneficioso. Los macollos basales formados en esta etapa pueden compensar en cierta medida las pérdidas de plantas durante la emergencia. Algunos híbridos tienen mayor tendencia a macollar que otros.

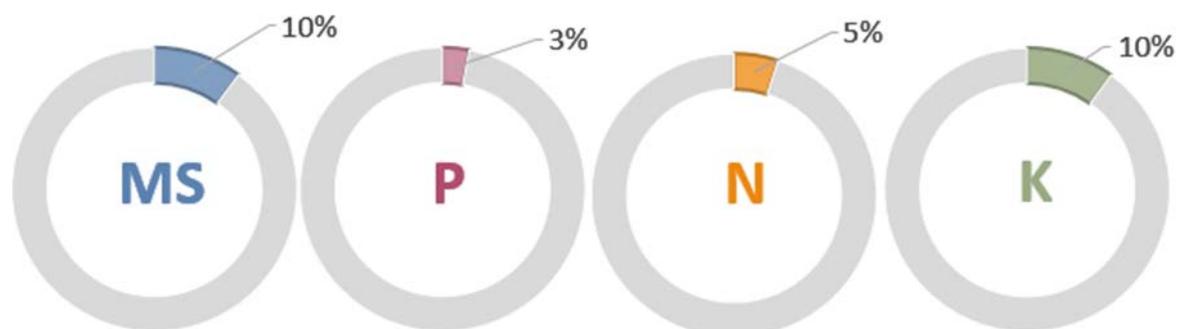


Figura 12.2. Acumulación de materia seca (MS) y nutrientes: fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) del total acumulado a los 20 días desde emergencia

Tal como se observa en la figura de la evolución de la acumulación de biomasa aérea y captación de nutrientes (curvas de K, N, P y materia seca aérea (Fig. 12.2), durante esta etapa se alcanza alrededor de un 10 % de la materia seca aérea. Los días a diferenciación del ápice y a floración están influenciados por la T°, el fotoperíodo y la interacción entre ambos factores.

El sorgo puede ser dividido en tres grupos de acuerdo a su adaptación a la temperatura y fotoperíodo (Acciaresi, 2007):

- Tropicales tolerantes a bajas temperaturas (sorgos de zonas altas): estos genotipos crecen y se reproducen bajo temperaturas relativamente bajas especialmente nocturnas. Son genotipos sensibles al fotoperíodo.
- Tropicales de zonas bajas: estos genotipos se encuentran adaptados a días y noches relativamente cálidas a lo largo de su ciclo con alta respuesta fotoperiódica.
- Templados: estos genotipos manifiestan diferentes grados de sensibilidad fotoperiódica y toleran temperaturas relativamente bajas (18° C) en el inicio y final del ciclo productivo, pero no durante floración.

Este grupo ha recibido la mayor atención debido a la importancia que los mismos ocupan en los sistemas productivos extensivos (EEUU, India, China, Argentina). En estos genotipos la diferenciación del ápice y el ciclo a floración están regidos por seis genes (*Ma1*, *Ma2*, *Ma3* y *Ma4*, *M5* y *M6*) (Brady *et al.*, 2006).

Estos genotipos poseen una respuesta general al fotoperíodo características de las plantas con respuesta a día corto cuantitativa. El modelo general para estos genotipos se representa en la Fig. 12.3.

En sorgo, la sensibilidad al fotoperíodo ocurre en la planta aproximadamente a los 15 días de su nacimiento (Caddel & Weibel, 1972) aunque puede variar entre genotipos. El fotoperíodo óptimo es aquel que no tiene efectos de retraso en la diferenciación floral. Bajo fotoperíodos óptimos, el cambio de estado ocurre en el tiempo más corto posible, correspondiendo a la duración de la fase vegetativa básica (Fig. 12.3). Bajo condiciones de fotoperíodos no óptimos, existirá un retraso en el inicio de la diferenciación con el cambio del fotoperíodo. Este retraso es la fase de inducción fotoperiódica y la sensibilidad fotoperiódica queda determinada por la pendiente de la función tiempo térmico a diferenciación respecto al fotoperíodo (Acciaresi, 2007).

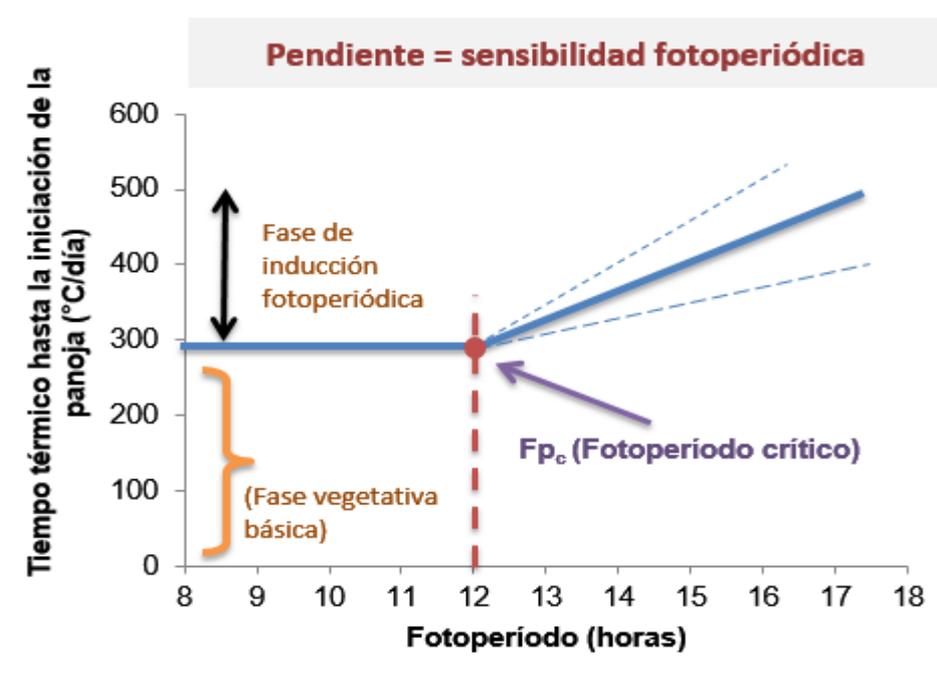


Figura 12.3. Respuesta del sorgo al fotoperíodo. Adaptado de Major *et al.* (1990)

En este grupo de sorgos *templados*, según sea la constitución genotípica de los cultivares, la temperatura, el fotoperíodo y la interacción de ambos factores, esta fase (EC1) puede variar entre 20 y 80 días. Así, se puede observar como bajo dos fotoperíodos (10 y 17 hs.) y cinco regímenes térmicos (día/noche) un mismo genotipo puede pasar al estado reproductivo en 20 días, en tanto bajo otra combinación no diferenciar primordios florales. Existe una evidente compleja interacción entre los efectos del fotoperíodo y la temperatura. Se ha establecido en diferentes estudios que los sorgos templados son recesivos en el locus *ma1* o si portan el alelo dominante *Ma1*, son recesivos en otros locus y que la mayor parte de los sorgos tropicales son dominantes para los cuatro loci de madurez (Ma) (Brady *et al.*, 2006).

Estadio 3 (diferenciación del punto de crecimiento)

Alrededor de 30 días desde la emergencia, cuando la planta posee entre seis a ocho hojas visibles, el punto de crecimiento cambia de vegetativo a reproductivo (Vanderlip, 1993). El número total de hojas ha quedado ya determinado. La superficie foliar es aproximadamente un 35 % del total, perdiéndose entre una a tres hojas basales. La materia seca aérea en este momento es de un 15 % del total. A partir de este momento, comienza una importante absorción de nutrientes (K, N, P) y de producción de materia seca aérea, a tasa constante hasta floración (Fig. 12.4). El número de panojas.m⁻² se incrementa a tasa constante a través del activo proceso de macollaje que se desarrolla durante esta fase de crecimiento

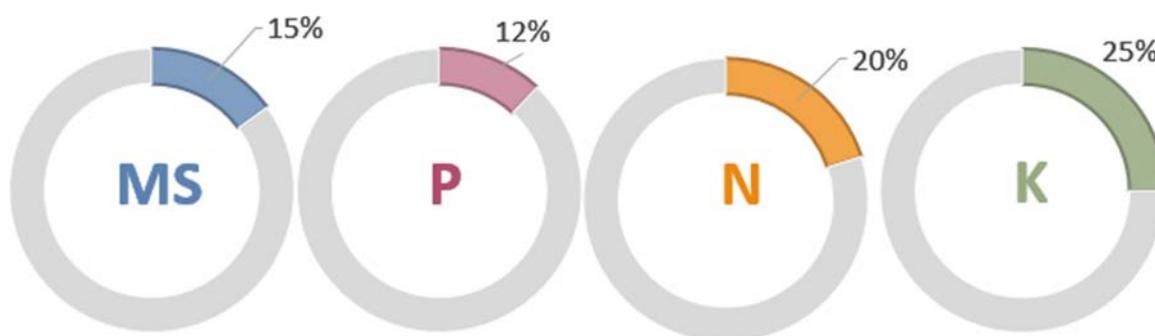


Figura 12.4. Acumulación de materia seca (MS) y nutrientes: fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) del total acumulado a los 30 días desde emergencia

La segunda etapa de crecimiento (EC2)

Comprende el período entre los 30 hasta los 60 días después de la emergencia (DDE), iniciándose con el cambio de estado del ápice de crecimiento, continua con el desarrollo de la inflorescencia y termina con la floración (Vanderlip, 1993). El número potencial de granos queda determinado en esta etapa en la cual se incrementa notablemente la absorción de nutrientes y agua y la producción de materia seca. El efecto interactivo entre

la temperatura y el fotoperíodo y la constitución genotípica influye en la duración de la etapa de crecimiento 2 (EC2). Este efecto no es tan importante como el evidenciado para el cambio de estado del ápice.

Es considerado el período más crítico para la producción de granos, ya que el número de granos.planta⁻¹ explica el 70% del rendimiento del sorgo. Cualquier factor biótico o abiótico que impida el desarrollo de la panoja durante este período reducirá el número de granos que se formarán, disminuyendo el rendimiento en grano.

EC2 comienza con la “iniciación de la panoja” y termina con la floración. Estas son las estructuras primordiales que terminan formando las ramas de la panoja, que luego se diferencian en espiguillas ramificadas, estructuras florales responsables de la producción de la semilla y la formación de grano.

Después de la iniciación de la panoja, la planta detiene abruptamente la formación de nuevas hojas y comienza a formar las estructuras reproductivas. A pesar que la iniciación de la panoja marca el momento en que la planta alcanza su máximo número de hojas, sólo un tercio de la superficie foliar se ha expandido. Durante este período en forma simultánea se desarrolla el área foliar restante, la panoja y sus partes florales. EC2 es un período de rápido crecimiento. Las aplicaciones localizadas de nitrógeno deberían ocurrir antes de este evento, así la fertilidad del suelo no sería limitante cuando el cultivo más lo necesita. La hoja bandera es la última hoja en salir del verticilo. Es más pequeña que las otras hojas y se ubica debajo de la panoja. Cuando aparece el collar de la hoja bandera, la planta alcanza el estado de bota.

Estadio 4 (hoja bandera visible)

A los 40 días o más DDE a hoja bandera es visible en el extremo (Vanderlip, 1993). Con excepción de las tres a cuatro hojas superiores, todas las hojas están expandidas y cerca del 80% del área foliar se ha alcanzado.

La eficiencia de intercepción es alta con una alta absorción de nutrientes y agua (aprox. 6mm.día⁻¹). En este estadio de acuerdo al genotipo y condiciones ambientales pueden haberse perdido de dos a cinco hojas inferiores. La capacidad de macollaje, en tanto no se registren deficiencias de recursos aéreos ni subterráneos, permite optimizar la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa tal como se muestra ante la variación del arreglo de siembra.

El número de granos potenciales por panoja sigue en aumento en esta etapa, pero sin alcanzar aún su máximo. Durante esta etapa es muy importante que las temperaturas se mantengan dentro del óptimo para la fase (25 °C). Un incremento de 5 °C (especialmente las nocturnas) por encima del óptimo conducen a un menor número de flores potenciales con una merma aproximada del rendimiento del 30 %. Este aspecto aparece relacionado a un menor número de flores diferenciadas pues no se ha observado un mayor aborto de frutos cuajados en post-antesis producto de esta mayor temperatura. El período de mayor sensibilidad aparece a las 2 a 3 semanas de iniciada la diferenciación de la panoja. Este incremento de la temperatura nocturna ha generado una disminución de la duración de la

EC2 en un 10 %. Asimismo, se ha demostrado durante esta fase de diferenciación de flores que un incremento en la captación de radiación o en el nivel de recursos edáficos, genera una mayor diferenciación de flores.panoja¹. Esto demuestra la habilidad del cultivo para responder en términos del número de granos a mayores disponibilidades de recursos aéreos y subterráneos y la relación que guarda la producción de granos al número de flores potenciales diferenciadas durante la fase diferenciación del ápice-floración. Por otra parte, esta plasticidad queda puesta de manifiesto cuando ante condiciones de recursos aéreos o subterráneos limitantes que conducen a la pérdida de las espiguillas diferenciadas en las ramificaciones de mayor orden de la panoja, el cultivo incrementa el número de granos eventualmente formados en ramificaciones más bajas. Este efecto también se visualiza cuando se remueven espiguillas con flores diferenciadas, aquellas espiguillas que no habían diferenciado flores comienzan a hacerlo, manteniendo el número de flores.panoja¹

Estadio 5 (panojamiento, espiga embuchada "bota")

Esta etapa se presenta a los 50 DDE o más, con todas las hojas totalmente expandidas, alcanzado la máxima área foliar e intercepción de radiación (Vanderlip, 1993). La panoja se encuentra próxima a alcanzar su máximo tamaño, encontrándose dentro de la vaina de la hoja bandera. La biomasa aérea se ubica cerca del 40% respecto al total a acumular en el ciclo del cultivo, en tanto cesa el crecimiento radical. La planta ha absorbido el 50% del P y el 60% de N (Fig. 12.5). El número potencial de granos queda definido en este estadio. En esta fase, la planta ingresa en el período crítico de crecimiento, el cual se prolonga hasta el inicio de floración.

Un estrés grave como una sequía en este momento puede impedir la excursión de la panoja desde el embuche y provocar una floración incompleta, menor logro de granos y en consecuencia pérdida de rendimiento. Los requerimientos de agua del cultivo son mayores en este momento, por lo que se debe buscar que el mismo coincida con una época de baja probabilidad de déficit hídrico.

En este período, existe una relación lineal entre el número de granos y la tasa de crecimiento del cultivo, pero la pendiente de esta relación difiere entre híbridos de diferente ciclo (van Oosterom & Hammer, 2008). Esto se debe a la diferencia entre híbridos en la proporción de materia seca destinada a la panoja alrededor de antesis. Asimismo, existe una relación lineal estrecha entre la tasa de crecimiento del cultivo y de la panoja (Fig. 12.6). Asimismo, durante el período bota-floración se da un importante crecimiento de la panoja, destinándose proporcionalmente una mayor cantidad de fotoasimilados a este órgano respecto a otros órganos en crecimiento, tales como los tallos. Este crecimiento de la panoja es muy importante debido a la relación que guarda con la determinación del número de granos (no diferenciándose en este caso con el ciclo del híbrido considerado) (van Oosterom & Hammer, 2008) (Fig. 12.7). De este modo, la disponibilidad de recursos aéreos y subterráneos deben sustentar el crecimiento de la panoja en este período por sobre el crecimiento de las estructuras vegetativas del cultivo (tallo y hojas).

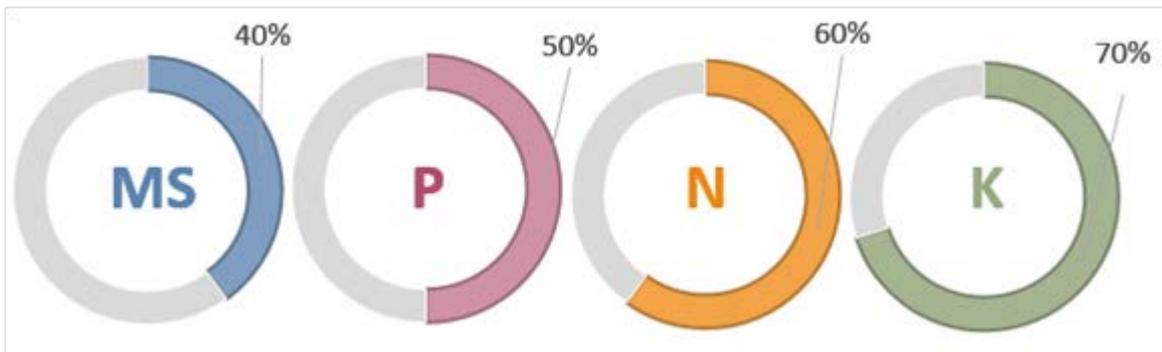


Figura 12.5. Acumulación de materia seca (MS) y nutrientes: fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) del total acumulado a los 50 días desde emergencia.

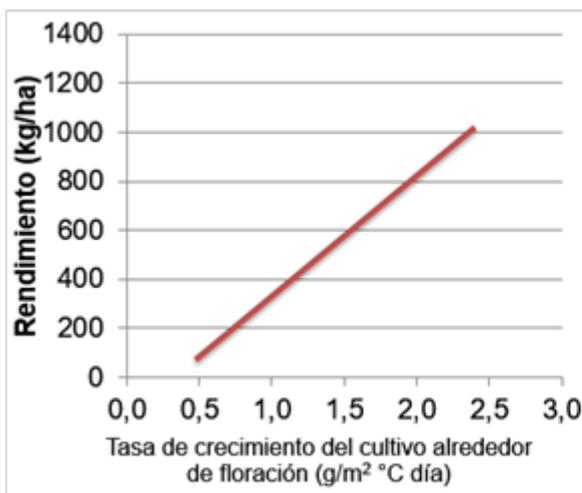


Figura 12.6. Relación entre el rendimiento en granos y la TTC del cultivo, alrededor de floración.

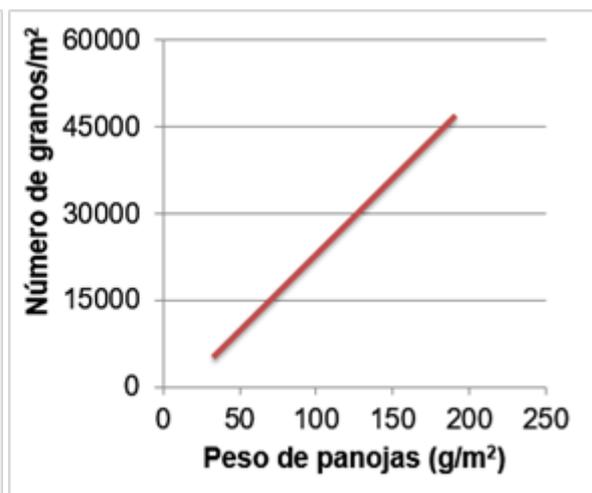


Figura 12.7. Relación entre el número de granos y el peso de la panoja alrededor de floración.

La tercera etapa de crecimiento (EC3)

Está definida por el período que media entre los 60 DDE en los cultivares de ciclo corto o más días en cultivares intermedios y largos y 90 o más días DDE y se caracteriza por el desarrollo y madurez del grano (Vanderlip, 1993). A su vez, entre madurez fisiológica y cosecha (15-20 % de humedad) pueden mediar otros 20 a 30 días más. Esta fase comprende los estadios de floración, grano lechoso pastoso y madurez fisiológica, con la aparición de una capa negra cerca del punto de la fijación de las semillas en la inflorescencia. La duración de esta etapa es variable dependiendo del genotipo y del ambiente bajo el cual transcurre. Así, se ha observado una importante reducción en su duración cuando el rango de temperaturas diurnas/nocturnas pasó de 25°/20° a 35°/25°, siendo esta reducción más importante que para etapas vegetativas. Asimismo, se ha observado una reducción en esta etapa de manera independiente a la tasa de llenado. No

obstante, no ha surgido de manera clara que una mayor temperatura limite la distribución de asimilados al grano para su crecimiento, pero el efecto que estas tienen sobre la duración de la fase conducen a una merma del peso del grano.

Estadio 6 (floración)

A los 60 DDE es durante esta etapa que el pedúnculo crece rápidamente extendiendo la panoja a través de la vaina de la hoja bandera (Vanderlip, 1993). En este momento comienza la formación del grano por lo que si la planta no ha alcanzado el IAF crítico (95 % de intercepción de la RFA) no puede ser corregida ya sea por el macollaje o la expansión foliar.

La floración comienza típicamente cuando las anteras amarillas aparecen en la punta de la panoja, de 5 a 7 días después de la excursión de la panoja. En los próximos 4-9 días, las anteras aparecen gradualmente y se desarrollan desde la punta hacia la base de la panoja. El cultivo está en plena floración cuando el 50% de las anteras en un 50% de las plantas en el campo han emergido.

El estrés ambiental por calor o sequía no suelen afectar a la polinización, pero la deriva de herbicidas antes, durante o inmediatamente después de la polinización pueden interferir con la producción de grano y reducir el rendimiento. La mosquita del sorgo, una plaga común al cultivo, es perjudicial en esta etapa porque pone sus huevos en la flor y se alimenta de las semillas en formación. Una mosquita por panoja puede reducir el rendimiento en grano de 10 a 20 %. A su vez, es importante monitorear las plantas para detectar la existencia de otras plagas como: pulgones verdes en las hojas y orugas en las panoja.

La temperatura mínima para floración es de 16°C, aunque son convenientes temperaturas más elevadas. Valores inferiores pueden producir esterilidad de las espiguillas y afectar la viabilidad del grano de polen. Temperaturas por encima de los 38°C pueden causar abortos de flores y embriones. La duración es de 4 a 10 días, siendo la planta muy sensible a la ocurrencia de déficit hídrico, con un consumo de 8 mm.día⁻¹ aproximadamente. En esta etapa se ha alcanzado el 50 % de la biomasa aérea y la absorción del 70 y 60% del N y P a ser absorbido a lo largo del ciclo (Fig. 12.8). En este período, los ovarios de aquellos granos de mayor tamaño son de mayor volumen, con un mayor número de células por estrato y un mayor número de fascículos vasculares en las paredes del ovario. Se ha determinado una estrecha relación positiva entre el peso seco del grano y el volumen del ovario en antesis (Yang *et al.*, 2009) En este período el grano posee una fase de crecimiento lineal que se inicia dos a tres días previos a la apertura floral, crecimiento anticipado si se compara con la que se registra en maíz o trigo. El crecimiento lineal continúa hasta dos días antes de la aparición de la capa negra en el grano. Dentro de este crecimiento, el momento de mayor sensibilidad ocurre entre los 6 y 9 días de ocurrida la antesis. La carencia de recursos subterráneos en ese lapso conduce a mermas importantes del peso del grano ya que se ve afectada la activa división celular endospermática. Este crecimiento lineal del grano persiste en una importante cantidad de ambientes. Diferentes estudios han determinado que los granos de sorgo crecen bajo condiciones limitantes de fotoasimilados que impiden que los mismos alcancen su tamaño potencial a madurez fisiológica. Se ha postulado que en sorgo el

crecimiento del grano se encuentra limitado por fuente, con lo cual un incremento de los recursos aéreos o la remoción de granos (una semana después de la antesis) producen un aumento en el tamaño del grano (Gambín & Borrás, 2005, 2007). Así, se ha determinado que el peso del grano puede incrementarse o disminuirse con un aumento o disminución de los fotoasimilados destinados al grano durante el período de llenado, existiendo la posibilidad de obtener un mayor tamaño de grano. Se ha observado que la remoción del 50 % de los granos de una panoja en antesis y 15 días posantesis produce un incremento del 35 % (aproximadamente) del peso del grano. Este incremento de fotoasimilados por grano promueve cambios tanto en la tasa de crecimiento del grano como en la duración del periodo de llenado del grano. Este comportamiento indica que el crecimiento del grano se encuentra limitado por la fuente de fotoasimilados (hojas y tallos) (Gambín & Borrás, 2005, 2007; Yang, 2009).



Figura 12.8. Acumulación de materia seca (MS) y nutrientes: fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) del total acumulado a los 60 días desde emergencia

Después de la floración, el desarrollo de las plantas se centra en la formación de granos. Azúcares, aminoácidos y proteínas producidos por hojas y raíces son transportados rápidamente al grano y se convierten en almidón y proteínas. El desarrollo de la semilla progresa de grano acuoso (etapa aún sensible a la fijación de grano) a lechoso, pastoso suave, pastoso duro y a madurez fisiológica en un plazo de 25 - 45 días después de la floración, dependiendo del híbrido y de las condiciones ambientales: temperatura, agua, nutrientes, plagas y enfermedades que afectan el área foliar o el sistema vascular.

Estadio 7 (grano lechoso)

Durante este período el grano se llena rápidamente acumulando hasta el 50% de su peso, continuando con la etapa lineal de crecimiento.

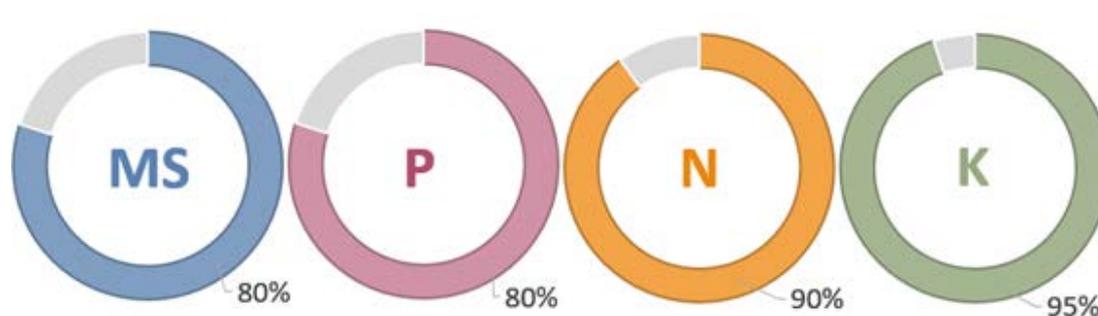


Figura 12.9. Acumulación de materia seca (MS) y nutrientes: fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) del total acumulado a los 70 días desde emergencia.

Durante esta fase continua la elongación del pedúnculo y la planta posee entre ocho a

doce hojas funcionales y se ha alcanzado aproximadamente el 80 % de la materia seca aérea a acumular (Fig. 12.9). Los granos alcanzan su tamaño máximo (volumen) unos 10 días después de la floración. El grano es blando y un jugo lechoso blanco sale si se lo aprieta. En este momento el rendimiento del cultivo está en función de la tasa de acumulación de materia seca en el grano y de la longitud del período de llenado. Durante este estadio se alcanza el máximo contenido de agua en el grano. Este factor es importante pues se encuentra relacionado con el máximo volumen que puede alcanzar el grano y guarda relación con el peso de los mismos.

Estadio 8 (grano pastoso)

En esta etapa ya se ha alcanzado alrededor de un 75 % del peso del grano, donde prácticamente la absorción de nutrientes se ha completado (Vanderlip, 1993). Un déficit hídrico severo o una helada temprana antes de madurez fisiológica puede provocar la disminución del peso del grano. La etapa de pastoso suave se produce 15 a 25 días después de la floración, el grano puede apretarse entre los dedos con poca o nula presencia del líquido. El sorgo para silaje suele ser cosechado en la etapa de pastoso suave, cuando la planta ha perdido varias hojas menores, presentando entre ocho y doce hojas funcionales. En esta etapa la panoja es muy susceptible al daño por aves.

Estadio 9 (madurez fisiológica)

En este estado se llega a la máxima materia seca aérea de la planta (Fig.12.10). El contenido de humedad del grano varía con el híbrido y con las condiciones de crecimiento (aproximadamente entre 25-30 % de humedad). Después de este estadio, las hojas funcionales pueden permanecer verdes. Con condiciones favorables de humedad y de temperatura, las ramificaciones provenientes de los nudos aéreos pueden comenzar a crecer.

La semilla está fisiológicamente madura cuando la capa negra aparece inmediatamente por encima del punto de unión del grano con el raquis, cerca de la base del grano. En este estado el grano tiene aproximadamente 30 a 35 % de humedad y alcanza su peso seco total (Fig.12.10). El grano se puede cosechar con 20% de humedad sin daño mecánico, pero debe ser secado a menos de 14 % para ser almacenado de forma segura en silos sin equipo de secado. El tamaño del grano varía por lo general desde 2,0 hasta 4,5 milímetros de diámetro. En promedio, pesan alrededor de 25-28 gramos por cada 1.000 granos, pero puede variar desde 13 hasta 40 gramos por cada 1.000 granos. El tamaño y peso del grano cosechado dependerá del factor genético (peso potencial) y de la capacidad de la planta para acumular materia seca durante EC3. El clima, la fertilidad del suelo y agua disponible influyen en el tamaño y el peso final de granos. En términos generales, el 85% por ciento de la materia seca producida por la planta durante EC3 va directamente al grano. Sólo el 15% del peso final del grano se origina de la materia seca producida en estadios previos. Ante condiciones adversas durante el llenado, la mayor proporción de asimilados provendrá de las reservas acumuladas en los tallos. Los híbridos con alto número de granos suelen tener bajo peso y viceversa. Heladas tempranas o una sequía

severa durante la etapa de grano pastoso suave puede reducir drásticamente la producción de materia seca, resultando en granos arrugados y livianos.

El ajuste de fecha de siembra y ciclo según la latitud es de vital importancia. El manejo de ciclo para fechas tardías adquiere relevancia cuando se siembra en altas latitudes. Si las condiciones de crecimiento son favorables cuando el grano está fisiológicamente maduro (no hay más acumulación de materia seca, punto negro), a menudo pueden surgir ramificaciones que si no se controlan, producen pequeñas cantidades de granos y aumentan la humedad del grano a niveles inconvenientes para la venta inmediata, o su almacenamiento, obligando a retrasar la cosecha varias semanas. La aplicación de glifosato cuando aparece la capa negra en el 50 % de los granos impide el desarrollo de ramificaciones posteriores a la maduración del grano y acelera el secado del grano y cosecha y detiene el consumo de agua potencialmente transferible al cultivo siguiente.

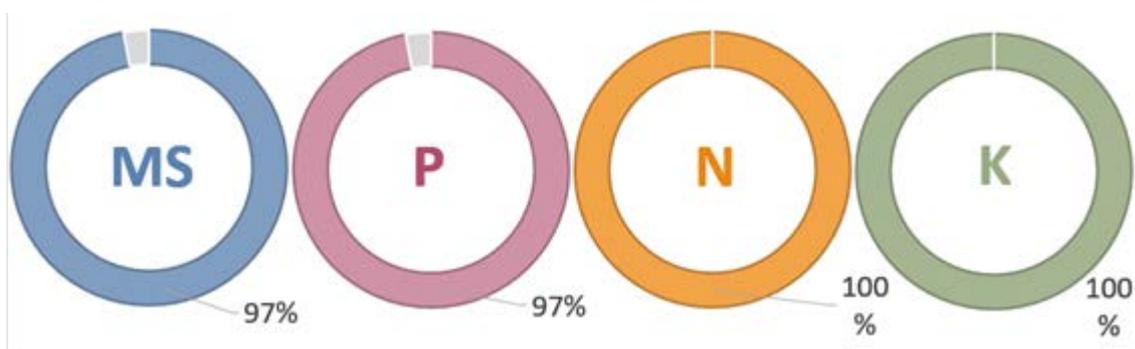


Figura 12.10. Acumulación de materia seca (MS) y nutrientes: fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) del total acumulado a los 90 días desde emergencia.

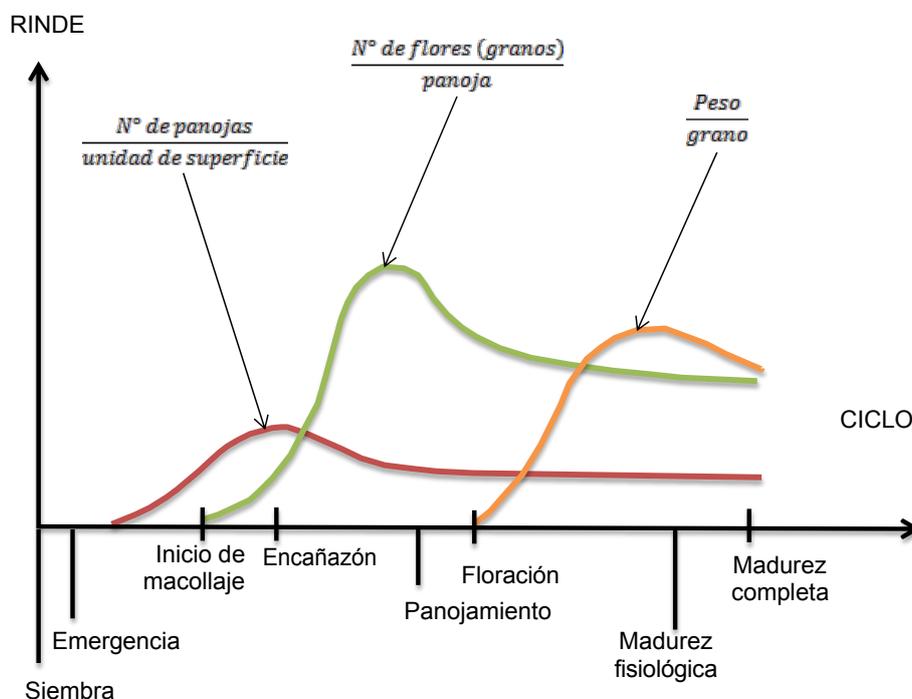


Figura 12.11. Componentes del rendimiento. Secuencia de su desarrollo

Utilización de agua y su relación con la productividad del cultivo de sorgo

El cultivo requiere un mínimo de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse rendimientos adecuados con 350 mm. Para alcanzar altas producciones, el requerimiento de agua varía entre 450 a 600 mm, dependiendo del ciclo del híbrido y de las condiciones ambientales. Los estadios de germinación-emergencia, encañazón y floración son especialmente sensibles a la falta de agua necesitando contenidos alrededor de capacidad de campo para obtener un adecuado desarrollo y crecimiento y producción de grano (Fig. 12.12).

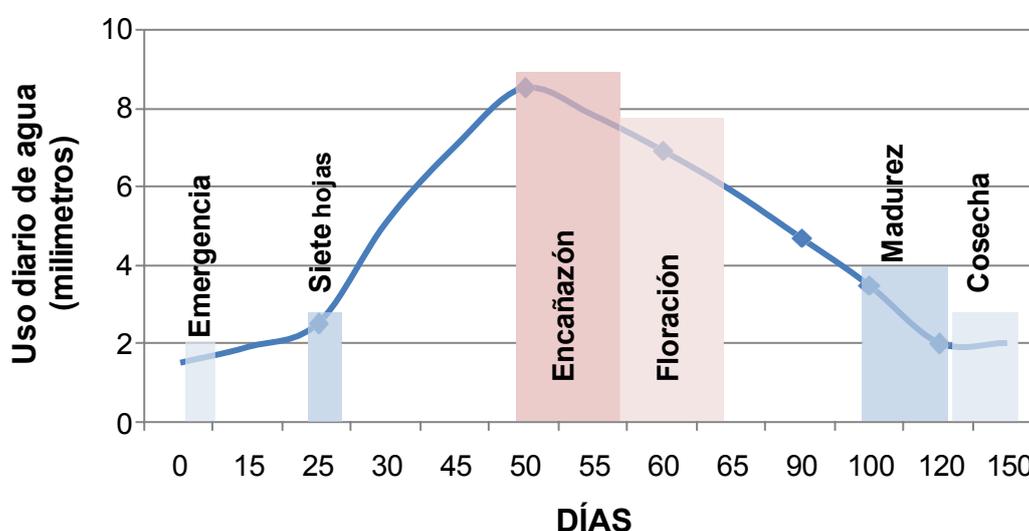


Figura 12.12. Requerimientos de agua durante el ciclo del cultivo.

Resistencia a la sequía

De acuerdo con lo informado por Saucedo (2008) y Pérez *et al.* (2010), el sorgo presenta las siguientes características:

- Un sistema radical muy ramificado (su índice radical duplica al del maíz), que le permite incluso aprovechar pequeñas precipitaciones producidas durante el verano y un déficit de presión de difusión en sus raíces, también superior al de la mayoría de los cultivos. Esta gran capacidad de absorción, sumada a su relativamente pequeña área foliar, es otro de los factores de su comportamiento a la deficiencia de agua.

- Una capa de cera que recubre las hojas y tallos, que disminuye la evaporación. Las partes aéreas de la mayoría de los sorgos están cubiertas con una espesa y amorfa capa de cera. Los tipos normales se caracterizan por la presencia de filamentos de cera en el pedúnculo, vainas de hojas y en la porción basal de la superficie inferior de la hoja dando esos tejidos una apariencia blanca. La cera epicuticular ha estado implicada como una característica del sorgo que aumenta su resistencia a la sequía. El rol de altas capas de cera en la epicutícula, parece ser importante para la supervivencia de la hoja, antes que para el mantenimiento de una alta productividad, ya que su principal efecto es un retardo de la pérdida de agua por vía cuticular
- Células motoras o higroscópicas que están regular y abundantemente dispuestas a lo largo de la nervadura central de las hojas, de modo que producen un acartuchamiento de toda la hoja cuando falta el agua, formando un ambiente confinado que disminuye la evaporación; este mecanismo es una importante contribución a la economía de agua. En el maíz, en cambio, las células motoras existen en focos aislados y, como consecuencia, su resistencia a la sequía es mucho menor.
- Un número de estomas mayor que en el maíz, pero su tamaño es mucho menor (aproximadamente la mitad). Esto le brinda mayor seguridad a la apertura y cierre, respondiendo con prontitud a las variaciones de humedad del ambiente.
- Facultad de entrar en «reposo vegetativo» cuando falta el agua. Los sorgos, en general, entran en período de dormancia o reposo vegetativo, que abandonan cuando hay de nuevo disponibilidad de agua.
- Tasa transpiratoria y eficiencia en el uso del agua: la planta de sorgo posee una baja relación de transpiración (kg de agua requeridos para producir un kg de materia seca) respecto a maíz. La eficiencia en el uso del agua se estima en términos promedios de 13,3 kg de grano.mm⁻¹ agua consumida.

Bibliografía

- Acciaresi H. (2007). *Cultivo de Sorgo*. Cerealicultura, UNLP. 18 pp.
- Brady. J. A. (2006). *Sorghum Ma5 and Ma6 maturity genes*. Doctoral dissertation, Texas A & M University. Available electronically from <http://hdl.handle.net/1969.1/ETD-TAMU-1661>.
- Caddel J.L. & Weibel D.E. (1972). *Photoperiodism in Sorghum*, *Agronomy. Journal*. 64:473-476.
- Gambín L. & Batlla D. (2012). *Determinación del rendimiento*. Producción de sorgo granífero. AACREA. 69 pp.
- Gambín L. & Borrás L. (2005). *Sorghum Kernel Weight: Growth Patterns from Different Positions within the Panicle*. *Crop Science*. 45:553-561.

- Gambín L. & Borrás L. (2007). *Plasticity of sorghum kernel weight to increased assimilate availability*. Field Crops Research 100: 272–284.
- Gerik T., Bean B. & Vanderlip R. (2003). *Sorghum Growth and Development*. AgriLiFE EXTENSION. Texas A&M System. 8 pp.
- Pérez A., Saucedo O., Iglesias J., Wencomo H.B., Reyes F., Oquendo G. & Milián I. (2010). *Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (Sorghum bicolor (L). Moench)*. Pastos y Forrajes V.33 (1)
- Pioneer. (2015). *Sorgo: crecimiento y desarrollo del cultivo*. Boletín técnico Pioneer. 4 pp.
- Saucedo O.M. (2008). *Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana*. Taller Nacional sobre empleo del sorgo. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba. (s/p)
- van Oosterom E.J. & Hammer G.L. 2008. Determination of grain number in sorghum. Field Crops Research 108: 259–268.
- Vanderlip R.L. (1993). *How a Sorghum Plant Develops*. Kansas State University. 3-19.
- Yang Z, van Oosterom E.J., Jordan D.R., Hammer G.L. (2009). *Pre-anthesis ovary development determines genotypic differences in potential kernel weight in sorghum*. Journal of Experimental Botany 60(4): 1399-1408.

CAPÍTULO 13

Sorgo: Siembra, época y densidad

Silvina Golik

Suelo

Si bien el sorgo adquiere sus mayores rendimientos en los suelos profundos de la región agrícola pampeana, sin exceso de sales, con buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y con pH entre 6,2 y 7,8; se desarrolla también en terrenos alcalinos, sobre todo las variedades azucaradas que exigen la presencia en el suelo de carbonato calcio, lo que aumenta el contenido de sacarosa en tallos y hojas. Es moderadamente tolerante a suelos con alguna salinidad y/o alcalinidad, siendo su comportamiento, ante esas condiciones mejor que la de otros cultivos como maní, soja y maíz.

Sistema de labranza

Actualmente el sistema de siembra más difundido es la siembra directa sin laboreo previo y control de malezas con tratamientos químicos, en estas condiciones el estado del suelo y el grado y tipo de cobertura son factores decisivos. El suelo debe estar firme, pero no compactado, con una buena reserva hídrica y nutricional. Se debe analizar el antecesor de acuerdo al rastrojo que deja y el momento en que desocupa el lote (Gonzalez & Scheidl, 2009; Jiménez 2012). Por ejemplo, el maíz para grano se debe evitar como antecesor por el gran volumen de rastrojo que deja. De usarse, se aconseja la pasada de una desmalezadora que permita disminuir la altura de los tocones cerca de la superficie del suelo. En el caso de una pradera, si bien aporta una buena fertilidad, muchas veces tampoco es conveniente como antecesor, ya que el suelo estará generalmente compactado, por lo menos en superficie, presentando una abundante masa radicular difícil de degradar en el corto plazo y por la presencia de insectos de suelo (gusanos blancos) en el momento de la implantación. El girasol puede ser un cultivo posible como antecesor sobre todo si se han elegido cultivares de ciclo corto que permitan una acumulación de agua en el perfil, siendo muy conveniente la pasada de una desmalezadora para reducir el tamaño de los tallos, acelerando la descomposición y emparejando el lote. En el caso del trigo como antecesor,

conviene la utilización de ciclos cortos, porque desocupan antes el lote y dejan menos residuos. La arveja por su cosecha temprana y la fertilidad actual que deja en el suelo es muy buen antecesor para el sorgo de segunda. La secuencia trigo-soja: es una buena opción como antecesor (Advanta, 2014). Otro tema importante bajo siembra directa es el control de las malezas puesto que las temperaturas del suelo suelen ser frías al momento de la siembra. En estas condiciones las plantas de sorgo crecen lentamente por semanas y se crean condiciones ideales para la invasión del sistema malezas, debido a que el sorgo tiene, comparativamente con el maíz y la soja, poca capacidad de competencia a la implantación, por lo que la presencia de malezas puede causar daños irreversibles (Advanta, 2014).

La siembra directa contribuye a inmovilizar el suelo y cubrirlo de residuos, regenerar macroporos estables, mejorar en la eficiencia del uso del agua, aumentar el contenido de materia orgánica, incrementar la actividad biológica y mejorar de la fertilidad química de los suelos. El cultivo de sorgo en la rotación contribuye especialmente en estos procesos merced al volumen y calidad del rastrojo que queda y al profuso sistema radicular (Forján & Manso, 2012a, 2012b, 2012c).

Siembra convencional

Se utilizan preferentemente sembradoras con tolvas a 0,52 cm o 0,70 m entre surcos, con regulación de profundidad y ruedas tapa surcos. No se deben descartar las sembradoras de grano fino, regulando la distancia entre surcos anulando dos a tres boquillas de siembra (INTA, 2007). Cuando se siembra con sembradoras de granos gruesos de dosificador tipo monograno se tiene mayor precisión en la densidad, en la uniformidad de distancia entre plantas y también en la profundidad de siembra. Se logra penetrar mejor en zonas compactadas o con rastrojo o abundantes raíces. Este tipo de sembradoras permiten sembrar a 52, 70 y 35 cm.

Sembrando a 35 cm no sólo se consigue la mejor condición de siembra para los diferentes sorgos sino que se controla la densidad dentro de las hileras y particularmente se realiza una mejor distribución espacial del cultivo (Gonzalez & Scheidl, 2009). La buena preparación de una cama de siembra producirá un stand de plantas superior y mejor productividad. Una preparación anticipada, seguida por un periodo de barbecho, ayudará a controlar mejor las malezas y a producir una cama de siembra más uniforme.

Cualquiera sea el sistema de siembra adoptado, se debe tener en cuenta que la semilla de sorgo es relativamente pequeña y con menos reservas con respecto a otros cultivos como soja o maíz, por lo que se la debe colocar en suelo húmedo y en contacto directo con el mismo, ya que de una rápida germinación y emergencia depende en gran parte el éxito del cultivo.

Temperatura del suelo

La temperatura del suelo, a la siembra, a 5 cm de profundidad no debe ser menor de 18°C durante tres o más días consecutivos. Estas condiciones se dan en fechas variables, según las

zonas. En la práctica algunos productores adelantan la fecha de siembra buscando mejorar el potencial, y disminuir la probabilidad de incidencia de barrenador y/o mosquita del sorgo. En esos casos las siembras comienzan con temperaturas cercanas a los 15 °C, aunque la emergencia en estos casos puede ser lenta y desuniforme, con plántulas débiles y rojizas.

Además, debe considerarse que siembra directa la temperatura del suelo tiende a ser menor, debido a los residuos en superficie, lo que debe ser tenido en cuenta tanto en la siembra como en la fertilización, especialmente con nitrógeno.

También es importante considerar la probabilidad de heladas. Las heladas tardías pueden enfriar el suelo, produciendo malas emergencias o matando las plántulas emergidas. Las heladas tempranas pueden tomar a los sorgos tardíos en estado de grano lechoso, provocando la muerte prematura de la planta, y por ende, granos chuzos y livianos. En las áreas del norte del país, el período libre de heladas permite una mayor flexibilidad en la época de siembra e incluso, en algunos casos, según el manejo del lote, se puede utilizar el rebrote como segunda cosecha o como reserva en pie.

Barbecho

Antes de la siembra del sorgo, para lograr una correcta implantación se debe realizar un barbecho adecuado. Más allá de que las condiciones intrínsecas del lote lo hagan apto para el desarrollo de las plantas, los tiempos de barbecho limpio deberían superar los 40 días de manera de conseguir una descomposición de residuos superficiales y raíces favoreciendo la formación de macroporos y disminuyendo la fijación de nitrógeno disponible por parte de los microorganismos. Por otro lado, durante este tiempo se permitirá la recarga de agua en el perfil

y dependiendo del suelo se producirán procesos de expansión y contracción que ayudarán significativamente a eliminar situaciones de compactación superficial producidas por el paso de maquinaria agrícola o por eventuales pastoreos (González & Scheidl, 2009; Advanta, 2014).

Siembra

La siembra de sorgo debe comenzar aproximadamente de 15 a 30 días posteriores a lo que es usual para el maíz de la región correspondiente. Para programar la siembra, es importante considerar el ciclo del híbrido a sembrar, para tener en cuenta cuando ocurrirá el periodo comprendido entre la prefloración y la floración, durante el cual es importante que el cultivo no sufra déficit hídrico o temperaturas extremas que afectarían negativamente al número de granos potenciales (INTA 2007).

Cualquiera sea el sistema de siembra adoptado, se debe considerar el pequeño tamaño de la semilla de sorgo y que posee menos reservas que otros cultivos, como la soja o el maíz, por lo que debe colocarse en suelo con la correspondiente cantidad de humedad y en contacto directo con el mismo, para que tenga una rápida germinación y emergencia (INTA 2007; Advanta, 2014; Cargill, 2014). En la cama de siembra se eben

considerar dos zonas: una zona conocida como la zona de semilla, que debe ser firme y la segunda zona, que está entre los surcos que es la zona de manejo del agua, que debe ser suelta para favorecer la infiltración del agua y evitar la germinación de semillas de malezas (Gonzalez & Scheidl, 2009).

La implantación del sorgo constituye la etapa más crítica de desarrollo del cultivo, Por lo tanto, se necesitan buenas temperaturas, adecuada humedad, un estrecho contacto semilla-suelo y un estricto control de profundidad de siembra.

Uniformidad y profundidad de siembra

La profundidad de siembra puede variar entre 2 y 10 cm (en casos extremos), pero por ser el sorgo una semilla pequeña, no deben realizarse siembras profundas. Se considera adecuado colocar la semilla entre 2 y 4 cm de profundidad, en la capa de mayor humedad, teniendo especial cuidado en conseguir una buena distribución en la hilera de siembra, con lo que se obtendrá una buena uniformidad del cultivo (INTA, 2007; Colazo & Garay, 2012). En el caso de sembradoras de placas, es importante la correcta elección de la placa de siembra a utilizar, que debe adaptarse al tamaño del grano de sorgo, contribuyendo a una distribución uniforme de la semilla.

Fecha de siembra

En cuanto a las fechas de siembra, lo más adecuado es tomar como referencia la temperatura del suelo para asegurar una rápida y correcta implantación, regla que rige para todas las zonas agroecológicas. En general, las fechas de siembra varían entre la primera quincena de Octubre y la primera quincena de Noviembre, como los momentos más óptimos, dependiendo de la zona (INTA, 2007; Cargill, 2014), aunque pueden extenderse hasta diciembre. Generalmente se recomienda sembrar los ciclos más largos lo más temprano posible, ya que el mayor potencial de rendimiento está ligado al mayor ciclo del cultivo, a la mayor posibilidad de encontrar las mejores condiciones de radiación, temperatura y precipitaciones durante el periodo crítico del sorgo (20 días antes y 10 días después de floración) y a la menor incidencia de plagas y enfermedades.

Densidad y distanciamiento entre hileras

Dependiendo de las zonas agroecológicas, y de los tipos y ciclo de los híbridos seleccionados para la siembra (ciclos cortos o largos, tipo granífero o doble propósito o forrajero), se debe apuntar a explotar al máximo la oferta ambiental (radiación, agua y nutrientes) para el logro de los máximos rendimientos (rendimientos potenciales). Para ello se debe combinar en forma correcta la densidad de plantas y el distanciamiento entre hileras.

Es importante realizar un ajuste de la densidad adecuada para cada ambiente y emprendimiento productivo, para asegurar el correcto uso de los recursos y evitar problemas

de manejo. Si la densidad es demasiado baja, el cultivo presentará alto macollaje, lo que puede generar problemas prácticos, como la aparición de plagas y enfermedades, e inconvenientes al momento de la cosecha (Chessa, 2004; Trucillo & Ortiz, 2012; Advanta, 2014) y además se desaprovechan los recursos (agua, luz, nutrientes). Por otro lado, si la densidad es demasiado elevada, el elevado consumo de agua en etapas tempranas puede generar estrés hídrico durante la floración y llenado de granos en un año seco. Por esa razón, cuando la disponibilidad de agua es limitante, especialmente durante el periodo crítico, es aconsejable usar densidades moderadas, ya que de esa manera el cultivo consume menos agua durante los estadios iniciales y llega en mejor estado a la etapa reproductiva (Díaz *et al.*, 2009).

Además de las características propias del híbrido, el componente principal del rendimiento del cultivo es el número de panojas.ha⁻¹. Se debe asegurar un número de plantas uniformemente distribuido en la línea, de manera tal que ese número esté en relación con la fertilidad y la oferta de agua del lote en cuestión. A mayor oferta mayor será la cantidad de plantas que se podrán tener en el surco y por hectárea (Chessa, 2004).

Debido a la cantidad de variables en cada ambiente, no es posible recomendar un número total de plantas por hectárea único para todas las zonas sorgueras y épocas de siembra. Si bien, con surcos a 70 cm, el tener 10 plantas m⁻¹ (alrededor de 140 mil plantas.ha⁻¹) o bien a 52 cm, el tener 10 plantas. m⁻¹ logradas (alrededor de 192 mil plantas.ha⁻¹) son densidades que tradicionalmente se utilizan en todas las áreas y para todos los híbridos, actualmente se tiende a aumentar las densidades, llegando a más de 200-250 mil plantas logradas.ha⁻¹ cuando las condiciones son óptimas para el cultivo (García Frugoni, 2012; Giorno & Melín, 2012; Sueldo Heritir & Castaño, 2012) y a no menos de 160 mil en situaciones donde la oferta ambiental es mínima (Trucillo & Ortiz, 2012). Díaz *et al.* (2007) en ensayos realizados en tres localidades en la Provincia de Entre Ríos, encontraron que cuando las lluvias fueron limitantes para el cultivo durante el periodo crítico, los mayores rendimientos se obtuvieron con densidades bajas y al aumentar la disponibilidad hídrica para el cultivo en ese periodo, un incremento en el número de plantas permitió obtener los mayores rendimientos.

Dada la plasticidad del cultivo, el sorgo granífero permite sembrarlo en surcos más angostos que los tradicionales 70 cm y 52 cm, logrando así tener más plantas por hectárea o bien la misma cantidad pero mejor distribuidas en la línea y entre surcos (Wall & Ross, 1975; Bennett & Tucker, 1986). Las experiencias en Argentina tanto como las internacionales, muestran que las siembras en surcos a 35 cm, con un 25 a 50% más de plantas que las realizadas a 52 cm y a 70 cm dan un mayor rendimiento que estas últimas para una misma condición ambiental determinada (Chessa, 2004; Trucillo & Ortiz, 2012; Irigoyen & Perrachon, 2014). Es así que altas densidades en surcos angostos realizan una colonización casi total del suelo, permitiendo además al cultivo expresar su máximo potencial de rendimiento y un efectivo control de malezas, dado que una vez que el sorgo cierra su surco, es casi imposible que prosperen malezas en el entresurco. Por otra parte, la menor distancia entre surcos

permitirá una distribución homogénea del cultivo sobre la superficie, así como del volumen de rastrojos. Estos beneficios los aprovechará el cultivo posterior al sorgo, dada la cantidad elevada de nutrientes que deja en el suelo.

Las mayores densidades se pueden utilizar en caso de ciclos cortos a intermedios en siembras directas e incluso con menor espaciado entre hileras para lograr una rápida cobertura y menor competencia de malezas, correspondiendo las menores densidades a los ciclos largos (Díaz *et al.*, 2007; Cargill, 2014) y sistemas convencionales de siembra a 0,70 m. Para SD se debe considerar hasta un 50% de pérdida de semillas, por diversas causas entre siembra y cosecha y para la labranza convencional se considera un porcentaje de pérdida de hasta el 30 % de semillas, por diversas causas entre siembra y cosecha.

Elección de híbridos

Al momento de la selección de híbridos, se debe considerar: el destino o uso que se hará del producto, y la zona agroecológica en que se sembrará. El sorgo posee gran ductilidad, por lo cual sus destinos son diversos: comercialización de grano, consumo animal en silo de grano húmedo, silo de planta entera, pastoreo directo o diferido, molienda y producción de etanol. En el mercado de semillas hay un gran portfolio de híbridos comerciales capaces de satisfacer esta multiplicidad de destinos del producto (Trucillo & Ortiz, 2012; Advanta. 2014).

Para la comercialización de grano se utilizan los sorgos graníferos, los cuales son aptos también para el silo de grano húmedo. Los sorgos doble propósito son aptos para la producción tanto de granos como para silo de planta entera. Por lo general, los sorgos graníferos alcanzan una producción de materia seca de hojas y tallos proporcional a la producción de granos, mientras que en los de doble propósito, la producción de materia seca de hojas y tallos supera en alrededor del 120 y 130 % a la de granos (Trucillo & Ortiz, 2012). Los sorgos sileros son los más aptos para el silaje, dada su calidad, son de ciclo largo y pueden presentar la nervadura marrón, con menor contenido de lignina o tallos azucarados. En el caso del pastoreo directo o diferido, se utilizan principalmente sorgos como los Sudan Grass y los Fotosensitivos. Los tipo Sudan Grass son mucho más foliosos, con hojas largas y tallos finos. Poseen excelente rebrote y elevada producción de macollos. Los sorgos fotosensitivos son muy sensibles a la longitud del día, por lo que generalmente no florecen o la hacen muy tardíamente. Por esta razón vegetan mucho tiempo y son muy altos. Para la producción de etanol, se utilizan sorgos especialmente desarrollados con ese fin, con gran contenido de azúcar en tallo. Además del destino, el otro criterio a considerar al momento de la elección de un híbrido es el ciclo del mismo, y su capacidad de adaptación al área agroecológica.

Los híbridos poseen diferencias en la extensión de su ciclo, que se caracteriza a partir del número de días a floración. Los ciclos cortos demandan 55 a 60 días a floración; los intermedios, de 60 a 70; y los largos, más de 70.

A su vez, la latitud provoca diferencias en el periodo libre de heladas, por lo que el periodo aprovechable por el cultivo también se ve alterado. A razón de esto, en la zona sur, el periodo es más limitado y es necesario utilizar ciclos más cortos. En la zona central,

se usan tanto ciclos cortos como intermedios y largos. Y en la zona norte, se utilizan los ciclos largos. En el sur también es posible utilizar ciclos intermedios cuando el objetivo es hacer silo de grano húmedo, que no implica la necesidad de esperar el secado del grano para la cosecha.

En la región central y norte, se pueden usar ciclos cortos cuando se desea liberar los lotes temprano para realizar algún cultivo de invierno o en siembras de segunda. Existen actualmente novedosos híbridos de ciclo ultraprecoces que ofrecen un mayor margen de maniobras para insertar el cultivo en las rotaciones de todas las zonas agroecológicas. En condiciones favorables, los híbridos largos presentan una importante ventaja en relación al resto, en términos de rendimiento y producción de biomasa, las cuales pueden acentuarse en el caso de baja disponibilidad de nitrógeno. En zonas con ambientes más secos o deficiencia edafoclimática, los híbridos recomendados son los de ciclo intermedio o corto, que presentan menores requerimientos de agua.

Bibliografía

- Advanta. (2014). Disponible en: [http://www.yoamoelsorgo.com.ar/pdf/MANEJO AGRONOMICO.pdf](http://www.yoamoelsorgo.com.ar/pdf/MANEJO_AGRONOMICO.pdf). Último acceso: Junio 2014.
- Bennett W.F. & Tucker B. (1986). *Prácticas culturales*. Producción moderna de sorgo granífero. 127 pp.
- Cargill. (2014). *Manual Técnico del Sorgo en La Argentina*. Disponible en: <http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualsorgo/manualsorgocargill02.htm>. Último acceso: Junio 2014.
- Chessa A. (2004). *Sembrando el sorgo granífero de primera*. AGROMERCADO 2004. Cuadernillo de Sorgo 94: 2-4.
- Colazo J.C. & Garay J. (2012). *Fenología y fisiología del cultivo de sorgo*. EEA INTA San Luis. 118 pp.
- Díaz M., Kuttel W., López R., de Battista J.J. & Figueroa E. (2009). *Rendimientos de híbridos de sorgo granífero en diferentes ambientes agroecológicos*. Campaña 2008/09. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/sorgo/evaluacion_manejo/20221_05_1227_desa.htm. 2009. Último acceso: Junio 2015.
- Díaz M.G., López R., Blanzaco E. Valentinuz O. Ishigaki A. & Picotti R. (2007). *Manejo del cultivo de sorgo granífero; prácticas para mejorar el rendimiento de cultivares comerciales*. Actualización Técnica. Maíz, Girasol y Sorgo. Serie Extensión N 44. INTA-EEA Paraná: 24-31.
- Forján H. & Manso L. (2012a). *La secuencia de cultivos*. En Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- Forján H. & Manso L. (2012b). *Los nutrientes*. En Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.

- Forján H. & Manso L. (2012c). *La materia orgánica del suelo*. En Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- García Frugoni F. (2012). *Región Litoral Sur*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.
- Giorno A. (2012). *Región Sudoeste*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.
- Gonzalez N. & Scheidl G. 2009. Implantación del cultivo de sorgo. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. 13 pp.
- INTA. (2007). *Consideraciones para el cultivo de sorgo granífero*. Sitio Argentino de Producción Animal. E.E.A Anguil. 15 pp.
- Irigoyen A. & Perrachon J. (2014). *RECURSOS NATURALES Sorgo granífero Plan Agropecuario*. Disponible en:
www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R123/R123_52.pdf. Último acceso: Junio de 2015.
- Jiménez O. (2012). *Sorgo granífero manejo sustentable del cultivo*. inta.gob.ar/archivos/sorgo-granifero-manejo-sustentable. 3 pp.
- Sueldo Heritir & Castaño. (2012). *Región Oeste Arenoso*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.
- Trucillo V. & Ortiz D. (2012). *Criterios para la elección de híbridos, fecha de siembra, densidad y distanciamiento entre hileras*. Producción de sorgo granífero. AACREA. 89 pp.
- Wall J.S. & Ross W.M. (1975). *Producción y usos del sorgo*. J.S. Wall & W.M. Ross. Editorial Hemisferio Sur. 399 pp.

CAPÍTULO 14

Sorgo: Fertilización y rotaciones

Silvina Golik y María Constanza Fleitas

Fertilización

Al evaluar la disponibilidad de nutrientes para el cultivo, se debe considerar distintos factores, entre los que se incluyen: tipos de suelo, rotaciones, cultivo antecesor, sistemas de labranza y condiciones ambientales. Es necesario realizar un análisis de suelo, para determinar, principalmente, la dotación de nitrógeno (N), de fósforo (P) y, según la zona que se trate, de potasio (K). Los elementos menores están, en la generalidad de los casos, aún se encuentran en cantidades suficientes para el cultivo del sorgo.

En la Tabla 14.1. se ejemplifica la cantidad de nutrientes que extrae el sorgo para distintos rendimientos.

Tabla 14.1. Estimación de los nutrientes requeridos para diferentes rendimientos de sorgo granífero (valores expresados en kg.ha⁻¹). Adaptado de Fontanetto y Keller (1999).

Rendimiento	N	P	K	Ca	Mg	S
4000	125	22	100	23	20	18
6000	180	30	150	33	30	24
8000	250	39	210	45	43	40
10000	300	48	270	55	55	50

Los fertilizantes, pueden aplicarse fertilizantes en forma individual, a bien en mezclas. No deben colocarse en contacto directo con la semilla, especialmente los más solubles, para evitar daños a la plántula por fitotoxicidad.

Respecto a la **rotaciones**, el sorgo granífero es un cultivo de gran importancia para las secuencias de los diferentes sistemas de producción, debido al aporte de rastrojos voluminosos y de elevada relación C/N al suelo, por lo que contribuye ampliamente a mejorar los niveles de materia orgánica de los suelos. Es también un cultivo que tolera mejor que otros las deficiencias hídricas y se adapta a una amplia gama de condiciones de suelo, presentando así mismo una buena respuesta a la fertilización.

Cultivo antecesor

El cultivo antecesor condiciona la respuesta del sorgo a la fertilización nitrogenada puesto que afecta la disponibilidad de agua y el contenido de nitratos al momento de la siembra del sorgo. En experiencias realizadas en la EEA Rafaela del INTA se compararon diferentes antecesores para un cultivo de sorgo, como ser: avena, maíz de segunda, sorgo forrajero y pastura degradada (Fontaneto *et al.*, 2008) con el objeto de evaluar la influencia del antecesor sobre el agua almacenada en el perfil hasta el metro de profundidad. Dicha variable se evaluó en tres momentos del ciclo del cultivo: siembra, floración y madurez. El mejor cultivo antecesor resultó la pastura degradada (que fue tratada con glifosato a principios del otoño), seguido por el sorgo forrajero, el maíz de segunda, y por último la avena. Este comportamiento se explica principalmente por la duración del período de barbecho que cada antecesor permite. Cuanto antes se desocupe el lote, mayor es probabilidad de acumular agua de lluvia, sobre todo si se tiene presente que en la mayoría de los años, las precipitaciones para el cultivo de sorgo ocurren a partir del mes de septiembre. Otro factor modificado por el cultivo antecesor y de gran impacto en el resultado final del sorgo es la disponibilidad de nitrógeno de nitratos (N-NO₃). De igual manera, que para el contenido de agua, los mayores contenidos de N se lograron con la pastura degradada. Para el rendimiento en grano, se observó la misma respuesta, obteniéndose las mayores producciones con la pastura, luego con el sorgo forrajero y el maíz de segunda y los más bajos con la avena. Por lo que se puede concluir que tanto el agua acumulada en el perfil, como el nitrógeno disponible se correlacionan positivamente con los rendimientos del sorgo, (Fontaneto *et al.*, 2008). Este comportamiento demuestra que el cultivo antecesor condiciona la estrategia de fertilización a encarar en sorgo. Con mayores contenidos de agua útil y N-NO₃ del suelo se podrán esperar mayores respuestas a la aplicación de fertilizantes.

Requerimientos nutricionales y extracción del cultivo:

Al analizar, los requerimientos de nutrientes que realiza el sorgo, es importante tener en cuenta lo beneficioso que resulta en la rotación, debido principalmente a sus bajos niveles de extracción de nutrientes. Para el caso del N, el sorgo se lleva del sistema más o menos la mitad del N que absorbe y la otra mitad la devuelve al suelo con sus rastrojos (Tabla 14.2). Para la soja el balance es mucho más negativo, pues exporta el 75% del N con los granos y devuelve el 25 %. El maíz extrae menos que la soja, pero más que el sorgo, y eso se repite para la mayoría de los nutrientes (Chessa, 2004; Fontaneto *et al.*, 2008; Fontaneto *et al.*, 2012) (Tabla 14.2).

Tabla 14.2. Índice de cosecha de nutrientes (%) de la soja, del maíz, y el sorgo granífero y aporte de los mismos por los rastrojos

Cultivo	Parte de la planta	N	P	S	K	Ca	Mg
SOJA	Grano	75	85	70	60	40	55
	Rastrojo	25	15	30	40	60	45
MAIZ	Grano	66	75	45	21	25	28
	Rastrojo	33	25	55	79	75	72
SORGO	Grano	52	63	35	15	10	15
	Rastrojo	48	37	65	85	90	85

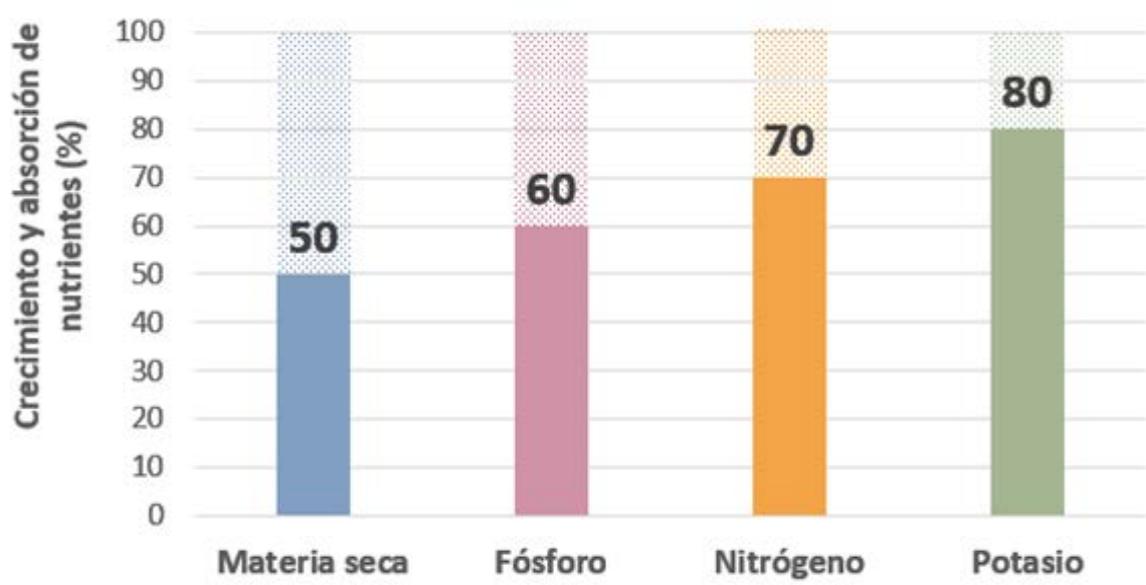


Figura 14.1. Producción de materia seca (MS) y absorción de fósforo (P), nitrógeno (N), potasio (K) y en floración del sorgo.

La disponibilidad y la detección de las deficiencias de los distintos nutrientes se pueden realizar a través del análisis del suelo o de la planta. El muestreo, ya sea de suelo o de la planta, constituye una labor muy importante, la que debe ser realizada conscientemente.

Nitrógeno

Normalmente, es el elemento de mayor deficiencia en las regiones sorgueras. Las mayores respuestas a la fertilización nitrogenada se dan en suelos con altas coberturas de rastrojo de gramíneas, húmedos y pobres en materia orgánica y estructura y manejados bajo siembra directa.

Los requerimientos del cultivo son muy bajos en los primeros días posteriores a la siembra, incrementándose de manera notable a partir de los 25-30 días, en coincidencia con la diferenciación del ápice reproductivo. Deficiencias a partir de ese período afectan no sólo al rendimiento sino también a la calidad del grano, por disminución del contenido de proteínas (Figura 14.1). Si los requerimientos totales de nitrógeno no son muy elevados (hasta 50 - 60 kg.ha⁻¹), se puede realizar una sola fertilización a la siembra, a unos 5 cm de profundidad y a un costado de la semilla, o bien cuando el cultivo tiene cinco

a seis hojas (30/40 cm de altura), unos 25 días después de la emergencia. La forma de aplicación varía según el tipo: si el fertilizante es sólido, se incorpora en banda lateral a la hilera. El fertilizante gaseoso (amoníaco anhidro) se inyecta y el líquido (UAN) puede aplicarse en superficie o inyectarse. Si las necesidades de fertilización son grandes, conviene realizar una aplicación dividida, con un 30-50 % a la siembra y el resto al estado de cinco a seis hojas. De esta manera se reduce el riesgo de pérdidas del nutriente, especialmente por lixiviación. Por otro lado, en ese momento se tiene una mejor visión del potencial del cultivo (stand de plantas, etc.) (Tabla 14.3). Los principales fertilizantes nitrogenados se detallan en la Tabla 14.4.

Tabla 14.3. Algunas Características de los Macronutrientes Primarios

NUTRIENTE	SOLUBILIDAD	MOMENTO IDEAL DE APLICACIÓN
Nitrógeno	Alta	Dosis baja: en la siembra y hasta 5 / 6 hojas. Dosis alta: ½ en la siembra y ½ a las 5 / 6 hojas.
Fósforo	Baja	En la siembra
Potasio	Baja	En la siembra

Tabla 14.4. Principales fertilizantes nitrogenados

TIPO	FERTILIZANTES	CONTENIDO DE N
Sólidos	Urea	46%
	Nitrato de amonio	28 a 32 %
	Fosfato diamónico	18%
	Fosfato monoamónico	0,11
Líquidos	UAN	30 % p/V
Gaseosos	Amoníaco anhidro	0,82

Los requerimientos de N del cultivo son muy similares a los de maíz. La ventaja que tiene es que devuelve un poco más con los rastrojos que el maíz. Si nos proponemos pasar de una producción de 4000 a otra de 8000kg.ha⁻¹, implica el doble de todos los nutrientes. Entonces, en algún momento vamos a ser dependientes en el uso de cierto tipo de nutrientes, y los mismos serán agregados vía fertilizante.

El método de diagnóstico más utilizado para determinar la dosis de fertilizante a aplicar, es el balance de nitrógeno (visto para maíz). Consiste en la evaluación del N disponible inicialmente en el suelo, el N mineralizable durante el ciclo del cultivo y los requerimientos del cultivo de acuerdo al rendimiento esperado (demanda de N).

Al respecto en experiencias realizadas en la región oeste de Buenos Aires se determinó la máxima eficiencia de aprovechamiento del N con dosis de hasta 60 kg.ha⁻¹ dependiendo del sistema de labranza y del **cultivo antecesor**. En la región central semiárida de la provincia de Córdoba las necesidades de fertilización variaron entre 30 y 70 kg de N.ha⁻¹ en producción de secano y de 50 a 120 kg.ha⁻¹ bajo riego. En la zona centro de Santa Fe los mayores incrementos se lograron con dosis de 50 kg.ha⁻¹ con una eficiencia de 23 kg de grano por kg de nitrógeno (Gambaudo, 2008). Las dosis a aplicar pueden variar de

acuerdo al sistema de labranza y al cultivo antecesor que se utilice que influyen sobre la fertilidad actual y la mineralización del nitrógeno potencial.

El mejor **momento de aplicar** el nitrógeno es en el período de mayor exigencia, procurando sincronizar la oferta del nutriente con un sistema radical capaz de absorberlo (eficiencia). Como se mencionó antes, el sorgo es un cultivo exigente de N entre los estadios de “seis hojas” y el de “inicio de floración”. Es por eso que las aplicaciones complementarias deberían realizarse siempre antes del estado de “panojamiento”, es preferible dentro de los treinta días desde la emergencia, debido a que en este estadio se determina el tamaño de la panoja.

Fósforo

En la mayoría de los suelos donde se implanta el sorgo, el fósforo se encuentra medianamente o bien provisto, aunque su progresivo deterioro físico - químico ha provocado una marcada disminución del fósforo disponible, ocasionando deficiencias y necesidades de fertilización. A diferencia del nitrógeno, tiene escasa movilidad en el suelo, por su baja solubilidad. Para el diagnóstico de fertilización fosfatada, la determinación en laboratorio de fósforo asimilable, en muestras tomadas en los primeros 20 cm es el método más usual. Cuando los niveles están entre los 15 y 20 ppm la recomendación es aplicar una dosis de mantenimiento (20-40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅). Con niveles de fósforo disponible inferiores a 15 ppm (Tabla 14.5) se esperan incrementos de rendimiento significativos al agregado de este nutriente y la recomendación de aplicación entre 40 y 80 kg de P₂O₅/ha es frecuente.

Un factor importante, es la correcta ubicación del fertilizante fosfatado para que su aprovechamiento sea eficiente. La aplicación en bandas por debajo de la semilla, incrementa la eficiencia de acumulación del fertilizante en la planta (el movimiento del fósforo en el suelo se realiza sobre todo por difusión). La aplicación conjunta de fósforo y nitrógeno, sobre todo amoniacal, mejora la absorción del primero. Por esta razón los fosfatos amónicos constituyen un excelente “arrancador”, en especial en sistemas de labranzas mínima y siembra directa.

Tabla 14.5. El método de análisis más empleado (Bray) considera los siguientes niveles

Fósforo asimilable (ppm)	Calificación
0 – 5	Escasamente provisto: Muy alta probabilidad de respuesta a la fertilización.
5 – 10	Poco provisto: Alta probabilidad de respuesta a la fertilización.
10 – 20	Medianamente provisto: Probabilidad de respuesta dependiente del rendimiento esperado y del sistema de labranza.
más de 20	Bien provisto: Baja probabilidad de respuesta a la fertilización.

Azufre

Éste es otro nutriente que está siendo considerado como limitante de la producción como consecuencia de la disminución del contenido de materia orgánica de los suelos. El

96% del azufre (S) del suelo proviene de la fracción orgánica. Los estudios que se vienen realizando hasta el momento, en las áreas con mayor uso agrícola, están determinando respuesta a dicho elemento con valores entre 2 y 2,5% de materia orgánica y contenidos de S de sulfatos inferiores a los 12 ppm y su corrección se realiza con la aplicación entre 10 – 12 kg.ha⁻¹ de S

Potasio

Este nutriente es muy necesario para el crecimiento temprano y el desarrollo de las hojas. Es poco móvil por su fijación a las arcillas del suelo. En general, los suelos de la región pampeana están bien provistos de potasio. En caso de tener menos de 50 ppm disponible, se debe fertilizar siguiendo las recomendaciones del laboratorio, realizando la aplicación en forma total en el momento de la siembra.

Rotaciones

En los últimos años la región agrícola pampeana sufrió un proceso de transformación pasando de sistemas productivos basados en planteos mixtos a una agricultura intensiva, con la incorporación de nuevas superficies con baja aptitud para esta actividad. Ello trajo aparejado el reemplazo de cultivos tradicionales tales como el maíz por otros de mayor atractivo económico como la soja, que además posibilita su combinación con el cultivo de trigo de tal forma de obtener dos cosechas en un año (Casas, 2000; Forján, 2004). Esto junto con los incrementos de los rendimientos y con índices de extracción de nutrientes crecientes produjeron una elevada tasa de extracción de los mismos que no es repuesta en igual magnitud, generando procesos de degradación y agotamiento que ponen en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000, Martínez, 2002). Si bien la difusión creciente de la fertilización ha atenuado, en parte, los procesos de degradación, ésta no se realiza con el criterio de fertilización integral y balance de nutrientes. Generalmente, el manejo de la nutrición de los cultivos extensivos se evalúa considerando solamente el cultivo inmediato sin tener en cuenta los siguientes en la rotación. Investigaciones locales e internacionales han demostrado los efectos residuales de las fertilizaciones, fundamentalmente con nutrientes de menor movilidad en el suelo como P y K, e incluso, en algunos casos, con nutrientes de mayor movilidad como N y S. Esta reposición de nutrientes, menor a la adecuada, está provocando una disminución de los niveles de materia orgánica de los suelos y en consecuencia de su fertilidad (Studdert & Echeverría, 2000; Fabrizzi *et al.*, 2001, Forján & Manso, 2012a, 2012b y 2012c, Golik *et al.*, 2014). La rotación de cultivos resulta clave para lograr producciones rentables sin comprometer la capacidad de producción del suelo. Desde el punto de vista agronómico el sorgo cumple un rol destacado, presentando amplias ventajas su incorporación en las

rotaciones de cultivo. Los principales beneficios de la inclusión del sorgo en las rotaciones agrícolas son resultantes de la alta cantidad de rastrojo que aporta y su lenta descomposición (alta relación carbono/nitrógeno). Esto permite por un lado contribuir al contenido de materia orgánica del suelo (Forján & Manso, 2012a) y por otra, mediante labranza conservacionista, es decir manteniendo los rastrojos en superficie, disminuir las pérdidas de agua del suelo por evaporación, evitar o disminuir los procesos erosivos, mejorando la infiltración del agua de lluvia. A su vez, las características de su sistema radicular fibroso ayudan a recuperar la estructura de los suelos, lo que conjuntamente con la cobertura superficial que genera lo hace un cultivo apropiado para los sistemas de siembra directa (Díaz Zorita, 2009; Forján & Manso, 2012c). Se debe tener en cuenta que debido a la alta relación carbono/nitrógeno de su rastrojo, la descomposición del mismo puede generar procesos de inmovilización del nitrógeno del suelo por parte de los microorganismos (Wall & Ross, 1975; Bennett & Tucker, 1986). Esto determina una menor disponibilidad temporal del N del suelo para el cultivo siguiente; es por ello que se aconseja la implantación de leguminosas posterior a la siembra de sorgo, ya que las mismas como consecuencia de la fijación biológica son menos dependientes de los niveles de nitrógeno del suelo para lograr adecuados rendimientos (Forján & Manso, 2012c). En la Región Pampeana, se han registrado incrementos del 20 al 30 % en los rendimientos de soja cuando se hace rotación con sorgo, respecto al monocultivo de soja (Fontanetto & Keller, 1999).

Bibliografía

- Bennett W.F. & Tucker B. (1986). *Prácticas culturales*. Producción moderna de sorgo granífero. 127 pp.
- Casas R.A. (2000). *La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas*. www.insuelos.org.ar, consulta: mayo 2013.
- Chessa A. (2004). *Sembrando el sorgo granífero de primera*. Cuadernillo de sorgo - noviembre 2004- nro. 94, pp 2-4.
- Díaz Zorita M. (2009). *Rotación de cultivos y uso eficiente de los recursos de producción*. Siembra Directa. Revista AACREA 126pp.
- Fontanetto H. (2012). *Manejo de la fertilización*. Producción de sorgo granífero. AACREA. pp 25-30.
- Fontanetto H. & Keller O. (1999). *Fertilización en sorgo*. EEA INTA Rafaela.
- Fontanetto H., Keller O, Albrecht J., Giailevra D, Negro C. & Belotti L. (2008). *Aspectos del manejo del cultivo y de la fertilización nitrogenada para el sorgo granífero*. EEA INTA Rafaela 19-24.
- Forján HJ. (2004). *Balance de nutrientes en secuencias agrícolas de la región sur bonaerense*. INPOFOS. *Informaciones Agronómicas* 21: 8-1

- Forján H. & Manso L. (2012a). *La secuencia de cultivos*. En Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- Forján H. & Manso L. (2012b). *Los nutrientes*. En Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- Forján H. & Manso L. (2012c). *La materia orgánica del suelo*. En Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia. Chacra Experimental Integrada Barrow. (Convenio MAA-INTA) 101pp.
- Gambaudo S. (2008). *La fertilización del sorgo granífero*. En: Fertilización de Cultivos y Pasturas. 2da Edición ampliada y actualizada. R. Melgar & M. Díaz Zorita (Eds.). Editorial Hemisferio Sur S.A. pp 237-243.
- Golik S.I., Chamorro A.M., Bezus R. & Pellegrini A. (2014). *Extracción y balance de nutrientes para distintas secuencias de cultivo en el noreste de la Provincia de Buenos Aires*. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 34(2): 147-150.
- Martínez F. (2002). *La soja en la Región Pampeana*. IDIA Año II Nro 3.
- Studdert G.A. & Echeverría H.E. (2000). *Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics*. Soil Sci. Soc. Am. Journal. 64:1496-1503.
- Wall J.S. & Ross W.M. (1975). *Producción y usos del sorgo*. J.S. Wall & W.M. Ross. Editorial Hemisferio Sur. 399 pp.

CAPÍTULO 15

Sorgo: Manejo de enfermedades

*Silvina Larran, María Constanza Fleitas
y María Rosa Simón*

Introducción

El concepto de enfermedad se define como cualquier alteración fisiológica y de la estructura normal de las plantas causada por un organismo o un factor ambiental que sea suficientemente prolongada o permanente como para producir síntomas visibles o para perjudicar su valor económico (Cordo, 2014; Agrios, 2005). Teniendo en cuenta los conceptos de Rabbinge (1993), las enfermedades se encuentran entre los factores reductores que limitan el rendimiento logrado de un cultivo. Sin embargo, las pérdidas ocasionadas por enfermedades dependen del agente causal, de la especie vegetal, de las condiciones ambientales y de las medidas de manejo utilizadas.

El cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) se destaca dentro de los cereales por el inusual amplio rango de enfermedades que lo afectan (Frederiksen & Odvody, 2000a), las cuales reducen el rendimiento y la calidad de granos y forrajes. La ocurrencia e importancia de las mismas varía según las zonas y años, debido a las diferentes condiciones ambientales, híbridos utilizados, prácticas culturales, variación en los agentes causales o la interacción de cualquiera de estos factores.

Las enfermedades que pueden afectar al sorgo son las que provocan la pudrición de las semillas o destruyen las plántulas; las que atacan el follaje, reduciendo la superficie fotosintéticamente activa; las que afectan a las panojas, reduciendo la producción y calidad; y las que ocasionan la podredumbre de tallos y raíces, impidiendo el normal desarrollo de las plantas al bloquear la absorción y translocación de agua y nutrientes. En este sentido, en función del destino principal del cultivo (forrajes o granos) algunas enfermedades pueden tener mayor relevancia que otras. Para un correcto manejo integrado de enfermedades, el conocimiento de los síntomas, la forma de supervivencia del patógeno y el constante monitoreo a campo son bases fundamentales. De manera que, para efectuar un manejo eficiente de enfermedades en el cultivo, es muy importante realizar un correcto diagnóstico de la enfermedad y de las condiciones ambientales en la cual es previsible el progreso de cada una.

Existen dos grandes patrones de desarrollo epidémico. Algunas enfermedades son monocíclicas, es decir, sólo se cumple un ciclo de la enfermedad por año, mientras que otras son policíclicas, con muchos ciclos de la enfermedad por año, este último tipo causa epifitias que son rápidas y explosivas (Wiik, 2009). El tamaño y forma de dispersión de las esporas también incide en la eficiencia de los métodos de control. La resistencia genética es la manera menos costosa y efectiva de manejar una enfermedad. Sin embargo, a veces no es posible disponer de materiales resistentes debido a la elevada variabilidad del patógeno en cuestión, poco conocimiento de la biología del mismo, falta de protocolos de inoculación, escasos conocimientos sobre la heredabilidad de la resistencia en la planta o, debido a la cantidad de diferentes especies implicadas (podredumbres del tallo y enmohecimiento de los granos).

Los fungicidas constituyen una importante herramienta de control de enfermedades foliares para la producción de cultivos. Los grupos de fungicidas más utilizados para el control de enfermedades foliares son los triazoles y las estrobilurinas. En tanto que los primeros se caracterizan por poseer un principio activo inhibidor del ergosterol, los últimos son derivados sintéticos de compuestos que se producen naturalmente *Strobilurus tenacellus* (Pers.) Singer. con una actividad antifúngica de amplio espectro por ser un inhibidor de la respiración mitocondrial. La utilización de mezclas posee como ventaja adicional limitar el desarrollo de resistencia por parte del patógeno por la presencia de dos compuestos pertenecientes a diferentes grupos químicos.

Por otro lado, el ambiente afecta de manera significativa la interacción planta-patógeno. Las condiciones ambientales predisponentes para el desarrollo de una enfermedad son variables y depende del tipo de patógeno. Además, para que una infección ocurra, dichas condiciones deben mantenerse por un periodo de tiempo determinado mientras el patógeno está en contacto con la planta. Cada patógeno posee un rango óptimo de temperatura en el cual crece. En este sentido, la temperatura afecta el periodo de incubación o periodo de latencia y la velocidad de generación de esporas. En general, el ciclo de la enfermedad se acelera con el incremento de la temperatura, lo que implica un rápido desarrollo de la epidemia. La información de periodos de mojado de las hojas con los valores de temperatura puede ser utilizada para predecir la ocurrencia de algunas enfermedades y por lo tanto prevenirlas. La temperatura del suelo también es crítica para el desarrollo de ciertas enfermedades. Suelos frescos y húmedos promueven el desarrollo de enfermedades que afectan a tallos y raíces como las podredumbres o que se inician por raíces como el mildiú veloso.

La humedad es particularmente importante para el desarrollo de bacterias y hongos. Las gotas de lluvia por ejemplo, juegan un importante rol en la dispersión de esporas de hongos y bacterias y, el periodo de mojado de hojas, puede determinar la germinación o no de las mismas. La germinación de esporas puede demorar menos tiempo en el caso de temperaturas cálidas en tanto que bajo temperaturas más frescas puede demorar más.

Por último, en cuanto a la nutrición y calidad del suelo, tanto excesos como deficiencias pueden ocasionar problemas. La fertilidad del suelo afecta la tasa de crecimiento del cultivo y su habilidad de defenderse de enfermedades. La deficiencia de nitrógeno provoca clorosis

en la planta comenzando por hojas basales y progresando hacia arriba mientras que un exceso puede incrementar la susceptibilidad a patógenos foliares porque causa la formación de tejidos suculentos que demoran la madurez de la planta. En el cultivo de sorgo, elevados niveles de nitrógeno y bajos de potasio favorecen a las podredumbres. Por otro lado, trabajos realizados en la India indican que elevados niveles de N incrementan la susceptibilidad del sorgo a ergot (Chinnadurai, 1971), mancha zonada (Naik *et al.*, 1976) y podredumbre del tallo (Anahosur *et al.*, 1977). Con respecto a la calidad del suelo, suelos pesados y mal drenados incrementan la susceptibilidad a mildiu cabeza loca o “*crazy top*”.

Es creciente la necesidad de un manejo racional de las enfermedades debido al incremento de las mismas en los últimos años y al fuerte impacto que tienen sobre la calidad y el rendimiento del cultivo. La siembra directa, la fertilización intensiva y la aparición de nuevos genotipos con mayor potencial de rendimiento pero más susceptibles han ocasionado un cambio en el panorama de las enfermedades. En este sentido, ciertas enfermedades que se consideraban poco frecuentes u ocasionales, son actualmente un problema de gravedad, en tanto otras que ya representaban un serio inconveniente, se mantienen.

Los niveles de severidad alcanzados por las diferentes enfermedades en el cultivo de sorgo van a variar en función del manejo del cultivo, la localidad y año, determinando epidemias leves, moderadas o severas.

Las enfermedades de origen biótico de mayor importancia en el cultivo de sorgo son causadas por hongos, bacterias o virus.

Enfermedades causadas por hongos

Probablemente los hongos sean los patógenos más abundantes del reino vegetal. Estos organismos infectan, colonizan y se reproducen en las plantas a las cuales utilizan como huéspedes. La mayoría de los hongos fitopatógenos son formadores de esporas que son pequeñas estructuras de resistencia que se trasladan por viento, lluvia, insectos, maquinaria, semillas y otros medios. Tanto los hongos como las bacterias penetran en los tejidos de la planta por aperturas naturales (vía estomas) o heridas.

Dado la gran cantidad de enfermedades ocasionadas por hongos que limitan el rendimiento y la calidad del cultivo de sorgo, se las clasificará en las siguientes categorías según el tipo de órgano o tejido afectado.

Enfermedades de la plántula

Las enfermedades de plántulas afectan el rendimiento del cultivo de sorgo debido a que disminuyen el número de plantas establecidas. Si bien el sorgo tiene la capacidad de compensar las pérdidas de plantas con un mayor número de macollos o panojas con un mayor número de granos siempre se debe apuntar a lograr las densidades óptimas para

alcanzar los mayores rendimientos según la zona. Incluso utilizando semilla con elevado poder germinativo, el número de semillas germinadas como su vigor pueden ser afectados si se dan condiciones favorables para que se desarrolle la enfermedad. Realizar la siembra con condiciones óptimas de temperatura y suelo permitirá una rápida emergencia, plántulas sanas y por lo tanto un adecuado stand de plantas.

Podredumbre de la semilla, podredumbre de la plántula o “damping-off”

Los organismos causales de esta enfermedad son organismos que generalmente se encuentran en el suelo; en su mayoría del género *Pythium* spp., aunque otros organismos del género *Fusarium* spp., *Phoma* spp., *Aspergillus* spp., y *Rhizoctonia* spp. también pueden ser responsables de esta afección.

Condiciones de elevada humedad y baja temperatura del suelo favorecen una elevada actividad de *Pythium* dado que sus esporas (oosporas) germinan en respuesta a los exudados de la raíz y la semilla. Si estas condiciones ocurren previas a la germinación de la semilla el primer síntoma es el fallo en la germinación y posterior podredumbre de la misma. Si la semilla germina y la enfermedad prevalece ésta puede ocasionar la muerte de la plántula antes de la emergencia. Por otro lado, si las plántulas enfermas emergen o si emerge una plántula sana y se infecta posterior a la emergencia los síntomas pueden ser (desde el menos al más severo) retraso en el crecimiento, clorosis, necrosis y muerte de la plántula. Otros síntomas que se pueden observar son algunas lesiones en las raíces de coloración roja, amarronada o negra aunque algunas coloraciones como las rojizas pueden ser debidas al genotipo y complicar la identificación.

El método de manejo de enfermedad más efectivo es utilizar semilla de buena calidad (buen poder germinativo, energía germinativa y vigor), sembrar con condiciones óptimas de humedad y temperatura del suelo para facilitar un rápida germinación y emergencia. A medida que la plántula crece engrosa sus tejidos radicales lo que disminuye la penetración de las esporas del hongo. Como método de control químico es recomendable la utilización de fungicidas de semillas de amplio espectro específicos para Oomicetes (en el caso de *Phytium* ssp.) y fungicidas adicionales para el resto de los patógenos (*Fusarium* spp., *Phoma* spp., *Aspergillus* spp., y *Rhizoctonia* spp.).

Enfermedades de la raíz y tallo

Podredumbres del tallo

Varios son los patógenos que pueden causar podredumbre del tallo en el sorgo. En tanto la podredumbre basal y de la raíz es producida por diferentes especies de *Fusarium* [*Fusarium veticillioides* Sacc.) Nirenberg (sin. *F. moniliforme*); la pudrición carbonosa del tallo es ocasionada por *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. y *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (sin. *Helminthosporium sativum*). Ambas enfermedades pueden ocasionar el vuelco de la planta y se manifiestan en general al final del ciclo del cultivo cuando se acerca la cosecha.

Los hongos que ocasionan podredumbres pueden sobrevivir el rastrojo o en otros hospedantes alternativos. *M. phaseolina* tiene una muy amplia gama de huéspedes, incluidos todos los principales cultivos de verano y muchas malezas de verano e invierno. Esta enfermedad es favorecida por condiciones de alta temperatura y baja humedad del suelo. Por el contrario, las especies de *Fusarium* como *F. thapsinum* y *F. andiyazi*, no son conocidos por infectar a otros cultivos. La siembra directa favorece la supervivencia de estos hongos en el rastrojo y sucesivas siembras de sorgo y maíz sin rotaciones con otros cultivos acumula gradualmente el nivel de estos patógenos en el suelo.

El vuelco es a menudo el primer signo de pudrición del tallo. En la mayoría de las plantas infectadas con *Fusarium* existe una coloración púrpura a pardo rojiza del tallo. Cuando el tallo se divide, la médula y otros tejidos poseen una coloración naranja o rojiza, a menudo concentrada en los nudos.

Por otro lado, *M. phaseolina* penetra a través de la raíz y continúa por la base del tallo, provocando la desintegración de los tejidos, el prematuro secado de la planta y vuelco de la misma. Los tallos afectados presentan un característico aspecto “esponjoso” y si se divide el tallo en ésta zona se pueden observar los microesclerocios adheridos a los haces vasculares. Los microesclerocios poseen un aspecto carbonoso y de ahí el nombre de la enfermedad “podredumbre carbonosa” (Fig.15.1B). En este estado, los tallos se vuelcan muy fácilmente a nivel del primero o segundo entrenudo, siendo éste favorecido por la altura de la planta y el peso de las panojas. No es común encontrar síntomas en las hojas pero si aparecen, se observan manchas extensas con un halo color vinoso oscuro a su alrededor. Las panojas son también susceptibles al ataque desde la floración hasta la madurez de los granos pudiendo ocasionar pérdida de granos y, en casos severos la totalidad de la panoja. Produce además aborto de flores. La pérdida de rendimiento se debe a la reducción del llenado del grano y consecuente pérdida de peso del mismo y al vuelco de la planta.

En general, no existe suficiente acuerdo entre las condiciones ambientales predisponentes para la manifestación de esta enfermedad. En nuestro país, se han presentado ataques intensos y generalizados coincidiendo con períodos muy lluviosos a fines de verano. Sin embargo, esta enfermedad cíclica no se manifestó en años con iguales o mayores precipitaciones. También se ha señalado su presencia en períodos de estrés hídrico. La enfermedad se puede manifestar en distintos tipos de suelo, pero en suelos bajos donde se acumula el agua o se efectúan cultivos reiterados se han registrado los daños más intensos.

Por lo mencionado, puede considerarse que los factores ambientales serían de incidencia secundaria debido a que esta enfermedad es típicamente de la etapa de senescencia. Pudiendo entonces afirmar que los factores agroecológicos que determinan pérdida rápida de vitalidad predisponen al vuelco. Entre los cuales se pueden mencionar alta densidad de plantas, daños por herbicidas, daños por granizo, destrucción del follaje por plagas y enfermedades, entre otros.

Como medidas para el manejo de la enfermedad se recomienda la resistencia varietal (vigor, robustez del tallo), no sembrar en lotes con antecedentes, evitar siembras muy densas y

labores culturales mal efectuadas y lograr un buen balance de fertilizantes nitrogenados y potásicos (elevados niveles de nitrógeno y bajos de potasio la favorecen). Es recomendable evitar el estrés hídrico, sobre todo en periodos posteriores a antesis. Asimismo, se recomienda al aparecer las primeras plantas volcadas realizar la cosecha en forma anticipada.

Enfermedades foliares

Mildiú veloso del sorgo (Downey Mildew)

La enfermedad es ocasionada por *Peronosclerospora sorghi* (Weston y Uppal) Shaw (sin. *Sclerospora sorghi*) y tiene como otros hospedantes al maíz (*Zea mays* L.) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.).

La infección del patógeno puede ser sistémica o localizada. La misma se inicia a través de oosporas (inóculo primario) que se encuentran en el suelo, rastrojo o adheridas a las semillas y que al germinar penetran en las raíces causando una infección sistémica. Los primeros síntomas aparecen en las hojas al estado de plántula entre los 45 y 60 días, como estrías o listas blancas que alternan con bandas verde claro (Fig.15.1A). En el envés de las hojas el hongo crece en forma de vello blancuecino que libera conidiosporas. A medida que las hojas crecen, las estrías se tornan castaño claro hasta virar al rojizo-herrumbroso, desgarrándose en tiras longitudinales debido a la destrucción del parénquima internerval y a la ocupación por las oosporas.



Fig.15.1. **A.** Downey mildew ocasionado por *P. sorghi*. **B.** Podredumbre carbonosa ocasionada por *M. phaseolina*.
Fuente: Kemerait (2012) y Brock (2011) respectivamente

La infección localizada (secundaria) se manifiesta en estado vegetativo avanzado, que inicia con la infección de las esporas (oosporas y conidios) transportados por el viento desde plantas infectadas a plantas sanas, dando lugar a la formación de una eflorescencia blanquecina sobre la

superficie afectada. Entre los espacios internervales aparecen manchas traslúcidas, irregulares, preferentemente alargadas que luego viran de marrón claro a oscuro con estrías pardo rojizas. Finalmente, las hojas presentan bandas necrosadas con aspecto de quemado. En este tipo de infección las hojas no se desflecan. También puede presentarse otro tipo de infección cuando luego de un período de crecimiento libre de enfermedad, se produce una infección sistémica, observándose los síntomas antes descriptos.

Dependiendo del momento de la infección las plantas pueden presentar enanismo y esterilidad o panojas de tamaño reducido y mal granadas. Los síntomas de la enfermedad pueden presentarse en plantas aisladas o en pequeños grupos y ser total o parcial.

Las condiciones predisponentes para que se desarrolle la enfermedad (que favorecen la formación, dispersión y germinación de los conidios) son baja luminosidad, elevada humedad relativa, intenso rocío y temperaturas entre 14 a 17° C (nocturna no superior a 20°C). Terrenos mal drenados predisponen a la infección.

Para el manejo de la enfermedad se recomienda la rotación con cultivos de oleaginosas como la soja (*Glycine max* L.) y otros cultivos como el trigo (*Triticum aestivum* L.). Evitar la rotación de sorgo-maíz ante la presencia de la enfermedad. Utilizar semilla curada con algún fungicida sistémico y el uso de híbridos resistentes.

Tizón de la hoja, quemado de la hoja o Helminthosporiosis

También conocida como “tizón del norte”, es una de las enfermedades foliares más destructivas del cultivo de maíz y sorgo. Esta enfermedad es ocasionada por *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard and Suggs. (sin. *Helminthosporium turcicum* Pass.). Además de afectar al cultivo de sorgo y maíz puede afectar a otras especies emparentadas al sorgo tales como el sorgo de Alepo (*Sorghum halapense* L.) y Sudangrass o pasto Sudán [*Sorghum x drumondii* (Steud.) Millsp. y Chas], también puede afectar el teosinte [*Zea mays* ssp. *mexicana* (Schrader) Iltis] y otras especies de gramíneas como *Paspalum scrobiculatum* L., *Echinochloa-cruis-galli* L., entre otras.

Los síntomas característicos son lesiones necróticas, elípticas y alargadas, de color marrón claro en el centro, con márgenes rojizos y oscuros. Sobre las lesiones puede apreciarse la esporulación del hongo causante en forma de puntuaciones oscuras que le dan el aspecto oliváceo. Cuando se dan ataques severos las lesiones pueden hacerse confluentes dando a la hoja un aspecto de quemado a causa de la obstrucción por el micelio del hongo de los vasos del xilema y posterior necrosis. Además de los ataques foliares, el patógeno puede ocasionar podredumbre de semillas y muerte de plántulas. Ocasionalmente, se presenta en regiones no tradicionales de cultivos con predisposición varietal.

Las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad son clima moderado y húmedo. El hongo necrotrófico, sobrevive en los rastrojos como micelio o conidios, los que pueden ser dispersados por el viento o salpicaduras de agua.

La enfermedad produce disminuciones de rendimiento al reducir la superficie fotosintéticamente activa y como consecuencia afecta la calidad de los granos. La susceptibilidad a esta enfermedad disminuye a medida que el cultivo avanza hacia la madurez. Como medida de manejo se recomienda la utilización de híbridos que posean un buen comportamiento a la enfermedad, evitar el monocultivo bajo siembra directa, no sembrar sorgo después de sorgo o maíz y rotar con otras especies. Como última instancia se pueden utilizar mezcla de fungicidas (triazoles más estrobilurinas).

Antracnosis

La antracnosis es una enfermedad que se distribuye ampliamente en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales donde prevalecen las condiciones de clima cálido y húmedo. Esta enfermedad puede manifestarse en cualquier parte aérea de la planta como hojas (Fig. 15.2A), nervaduras, tallos (Fig. 15.2B), panojas y semillas. La manifestación en hojas es la más común de todas y es considerada de gran importancia en especies de sorgo cultivadas para forraje, ya sea para silaje o pastoreo directo.

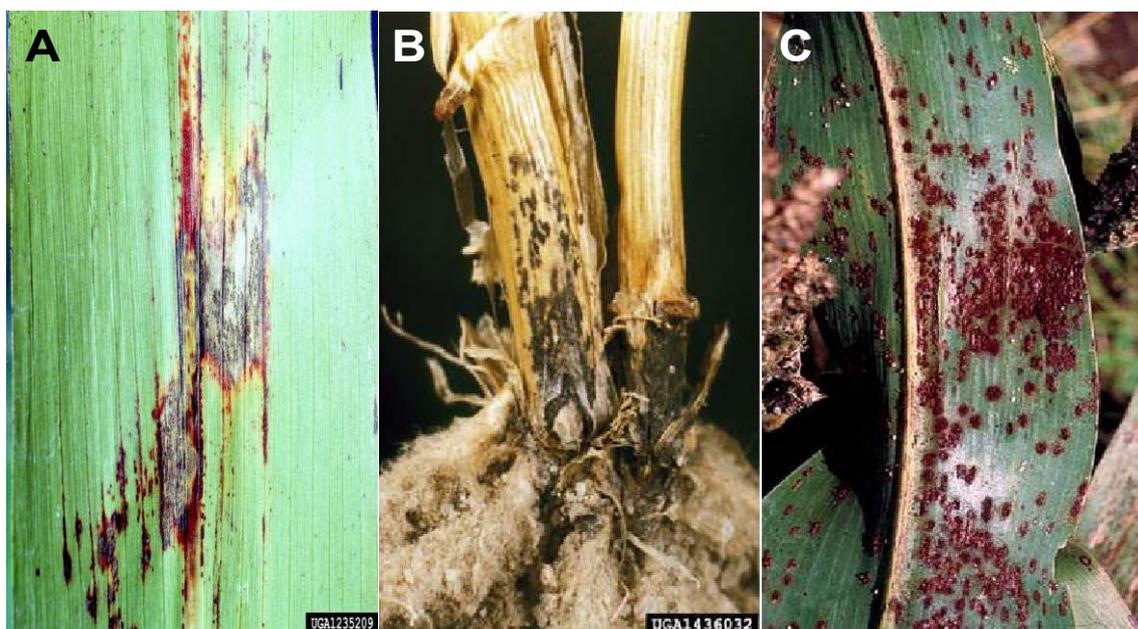


Fig.15.2. A. Antracnosis del sorgo ocasionado por *C. graminicola* sobre hojas. B. Ídem sobre tallos. C. Roya ocasionada por *P. purpurea* sobre hojas. Fuente: Clemson Ulniversity (2002; 2006) y Novell (2012) respectivamente

La antracnosis del sorgo es causada por el hongo *Glomerella graminicola* D. J. Politis [sin. *Colletotrichum graminicola* (Ces.) G. W. Wilson] el cual afecta varias especies de gramíneas incluyendo al maíz. Dicho patógeno posee muchas razas fisiológicas, patotipos y ecotipos. Los síntomas de la enfermedad típicos en hojas son pequeñas manchas circulares de hasta 5 mm de diámetro y de 3 a 20 mm de largo las elípticas. En condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad las manchas se incrementan en número y tamaño pudiendo llegar a coalescer y cubrir gran parte de la lámina. Las lesiones poseen márgenes bien definidos de color naranja, rojizo, grisáceo, negro o púrpura, dependiendo del cultivar y las condiciones ambientales. A medida que transcurre el tiempo se desarrollan en el centro

de las lesiones puntos concéntricos pequeños que son los acérvulos (cuerpos fructíferos del hongo). La aparición de síntomas puede ocurrir en cualquier estadio de crecimiento del cultivo. En infecciones tempranas y con elevada severidad la planta puede senescer por completo antes de llegar a la madurez.

Los síntomas en panojas son manchas elípticas debajo de la epidermis inicialmente incoloras pero que gradualmente se vuelven amarronadas y negro-purpúreas. Infecciones en el grano aparecen como rayas amarronadas u oscuras que rodean el grano y en infecciones muy severas el mismo puede presentarse completamente descolorido. La principal causa de pérdida de rendimiento se debe a la reducción del número y peso de los granos pero además, esta enfermedad puede causar el quiebre del pedúnculo lo que reduce el número de panojas cosechables.

El micelio del hongo puede sobrevivir en los residuos del cultivo anterior y persistir en él hasta 18 meses si el residuo no es enterrado. Contrariamente, los microesclerocios del hongo sobreviven en tejidos enterrados y los conidios pueden germinar cuando existan las condiciones adecuadas. Las infecciones de plántulas a partir del rastrojo se ve aumentado con las salpicaduras de gotas de lluvia y el contacto del follaje con el suelo. Otra fuente de inóculo es a través de semilla contaminada y huéspedes alternativos como sorgo de Alepo.

La forma de manejo más eficiente, económica y no contaminante es la utilización de materiales resistentes. Esto puede ser complementado con labores culturales como la rotación con otros cultivos no emparentados al sorgo, eliminar hospedantes alternativos y favorecer todas aquellas condiciones que aceleren la descomposición de residuo infectado.

Mancha zonada, de cobreo concéntrica

Esta enfermedad es ocasionada por el hongo *Gloeocercospora sorghi* Bain y Edgerton. Ataca generalmente a especies del género *Agrostis* pero también puede afectar a especies como gramilla (*Cynodon dactylon* L.), mijo (*Panicum miliaceum* L.), caña de azúcar, sorgo, sorgo de Alepo, sudangrass y maíz.

Los síntomas característicos son manchas en las hojas con formas circulares o semicirculares, con bandas alternadas de color púrpura-rojizas y canela o pajizas de apariencia concéntrica o zonada. Generalmente, afecta las hojas más viejas. Sobre los tejidos necróticos afectados de las hojas pueden desarrollar esclerocios negros. En infecciones severas las manchas coalescen abarcando gran parte de la hoja.

Como medida de manejo se deben utilizar cultivares resistentes o con buen comportamiento a la enfermedad, control químico y dosis de nitrógeno no muy elevadas ya que incrementos en la incidencia de la enfermedad han sido asociados a elevados niveles de N en el suelo (Naiket *al.*, 1976).

Roya

La roya ocasionada por *Puccinia purpurea* Cooke se presenta en regiones templadas y húmedas ocasionando reducción de la calidad de forraje y rendimiento de grano.

En condiciones a campo, raramente afecta plantas jóvenes. Los síntomas típicos de la enfermedad se expresan 1,5 a 3 meses posteriores a emergencia y se caracterizan por ser pústulas elípticas de color púrpura, rojo, anaranjado o amarronado dependiendo de la pigmentación del cultivar a ambos lados de las hojas (Fig. 15.2C). En los cultivares con reacción de hipersensibilidad, las pústulas permanecen del mismo tamaño mientras que en cultivares susceptibles, las mismas aumentan de tamaño.

P. purpurea es un organismo biotrófico, de manera que sus esporas no son viables por mucho tiempo en ausencia de un hospedante vivo. Varias especies son huéspedes alternativos del hongo los cuales proveen de inóculo inicial. Las esporas se trasladan por el viento a veces a grandes distancias. Como medida de manejo se recomienda el uso de cultivares tolerantes o resistentes, eliminar hospedantes alternativos (*Oxalis corniculata* L.) y complementarse con fungicidas selectivos.

Mancha gris

La mancha gris, ocasionada por *Cercospora sorghi* Ellis y Everhart se halla generalmente en regiones donde ocurren condiciones ambientales cálidas y húmedas durante estación de crecimiento de sorgo. También puede afectar otras especies de sorgo como sudangrass, sorgo de Alepo y sorgo de escoba (*Sorghum vulgare* var. *technicum*). En cultivares susceptibles provoca un severo daño foliar pero su impacto es difícil de precisar dado que la epidemia ocurre cercano a la cosecha, sumado a la ocurrencia de otras enfermedades foliares.

Esta enfermedad se presenta a partir de la emergencia floral, sin embargo el crecimiento y desarrollo del hongo como los posibles daños que provoca dependerán del inóculo inicial, de la duración de las condiciones ambientales predisponentes y de la susceptibilidad del cultivar. Los síntomas característicos iniciales son manchas foliares pequeñas, de aproximadamente 3 x 10 mm, localizada entre los haces vasculares; de color rojizo o púrpura. La coloración que toman las manchas depende del cultivar. Luego, se alargan formando lesiones rectangulares, estrechas delimitadas por las nervaduras. Estas manchas pueden ser solitarias o confluir formando considerables áreas foliares necrosadas. En las lesiones, a ambos lados, el hongo esporula con tonalidades blanco-grisáceo dada por la masa de conidios y conidióforos del hongo.

El patógeno persiste en tejidos infectados tanto del sorgo como de otras especies. Los conidios son el inóculo inicial y secundario los cuales se dispersan por viento y lluvia a hojas de huéspedes alternativos. Como medidas de manejo se recomienda el uso de cultivares resistentes o tolerantes y rotación de cultivos. Además, la eliminación de huéspedes alternativos favorece a disminuir la cantidad de inóculo inicial y evitar la dispersión de esporas a partir de los mismos.

Enfermedades de la panoja y grano

Mildiu cabeza loca “Crazy Top” (Panoja loca)

Esta enfermedad es ocasionada por el hongo *Sclerophthora macrospora* (Sacc.) Thirum., Shaw y Narasimhan que afecta al sorgo, maíz, trigo, arroz (*Oryza sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), avena (*Avena sativa* L.) y otras gramíneas pertenecientes a los géneros *Agropyron*, *Agrostis*, *Avena*, *Bromus*, *Pennisetum* y *Phalaris*, entre otros.

Las plantas jóvenes afectadas por el patógeno desarrollan un moteado semejante al producido por una virosis. Luego, muestran hojas gruesas, poco flexibles o torcidas. Más tarde ocurre el amarillamiento de la planta sin laciniado de tejidos. No se forman panojas, o se forman panojas parcial o completamente anormales con proliferación de estructuras similares a hojas deformadas y retorcidas, generalmente de gran tamaño y fácilmente distinguibles. Sobre los tejidos afectados desarrolla una masa vellosa de color blanco a crema formada por los esporangios y esporangióforos. El hongo sobrevive en el suelo como esporas de resistencia (oosporas) o en malezas gramíneas. La enfermedad a menudo puede ser más notable en las zonas bajas del campo donde existen mayores niveles de humedad en el suelo.

Para el manejo se recomienda el uso de híbridos resistentes, rotación, adecuado nivel de nitrógeno, fungicidas curasemillas y no sembrar en sectores del campo que se encuentren anegados o mal drenados.

Ergot, rocío azucarado o estría roja

Es una enfermedad ocasionada por *Sphacelia sorghi* McRae que afecta la polinización, fecundación y la formación de semillas. Si bien es considerada de menor importancia, se han registrado ataques considerables en La Pampa y Córdoba, en campañas en las que la floración coincidió con temperaturas frescas y humedad. Asimismo, en Entre Ríos se encuentra presente desde el año 1998. Produce pérdidas de rendimiento y de calidad de los granos además de causar dificultades en la cosecha.

El hongo penetra en el momento de la floración en los ovarios de flores que no han sido fecundadas, mostrando como síntoma visible las glumas abiertas, debido a que quedan separadas por el hongo. Posteriormente el hongo, desde el ovario infectado, produce un mielado o exudación azucarada de conidios, los cuales caen sobre otras flores, hojas y suelo. Al principio, las gotas azucaradas son transparentes, luego opacas u oscuras y finalmente se secan dejando una película blanquecina. En el cultivo el hongo se dispersa por el viento, insectos y el agua (Pérez Fernández, 2011).

Las panojas afectadas toman inicialmente esta coloración blanquecina pero en general se tornan oscuras por la proliferación del hongo hiperparásito *Cerebella* spp., que desarrolla esporodoquios (masa de conidios) de color negro, de aspecto afelpado y con pliegues de aspecto cerebroide.

La fuente de inóculo del hongo son las semillas infectadas, rastrojo y hospedantes alternativos como el sorgo de Alepo. La temperatura óptima para el desarrollo de la enfermedad está entre 18 y 30 °C.

Como medidas para el manejo de la enfermedad se recomienda evitar cualquier tipo de estrés que retrase la apertura floral y la polinización; eliminar los hospedantes alternativos; realizar rotación de cultivos; utilizar semillas sanas o tratadas con curasemillas; aplicación de fungicidas. Además es recomendable sembrar en época temprana debido a que las siembras tardías o de segunda predisponen el desarrollo de la enfermedad, ya que la floración puede coincidir con bajas temperaturas y largos períodos de mojado foliar que favorecen la esterilidad del polen (Velázquez & Formento, 2014).

Enmohecimiento de los granos

El enmohecimiento del grano de sorgo es una enfermedad de gran importancia y compleja. Esto se debe gran parte a la enorme variedad de especies de hongos que la ocasionan (más de 40 géneros; Frederiksen & Odvody, 2000b), sumado a que puede afectar tanto el grano como tejidos florales (glumas, palea, lemma y lodículas) y a que puede ocurrir en diferentes estadios del cultivo.

En un sentido amplio el enmohecimiento del grano describe una condición resultante de la infección fúngica y colonización de los granos que se producen entre la antesis y la cosecha, donde participan numerosas especies de hongos que interactúan parasitariamente y/o saprofiticamente con la planta produciendo deterioro en el grano. En un sentido estricto, la definición de enmohecimiento de grano es dada a la infección y colonización de tejidos de las flores antes de la madurez del grano. En esta definición limitada, sólo unos pocos hongos están involucrados. El desarrollo del moho posmadurez es más común durante la época de lluvias o incluso cuando se produce la formación de rocío o existe elevada humedad relativa. La mayor parte del crecimiento de moho está restringido al pericarpio sin mucha invasión de los tejidos interiores del grano. A menudo, el resultado de una infección tardía es la decoloración superficial del grano que afecta su apariencia y reduce el valor de mercado. A los efectos de este capítulo, el enmohecimiento del grano se referirá a una condición que resulta de las asociaciones de hongos con tejidos de las flores o granos de sorgo que ocurre desde la antesis hasta la cosecha.

Los síntomas de enmohecimiento pueden ser variables y dependerán del momento de infección y del patógeno involucrado. Infecciones tempranas se producen en las partes apicales de tejidos de flores tales como glumas, palea y lemma. Uno de los primeros síntomas visibles después de la infección es la pigmentación de glumas, palea, lemma y lodículas. Este factor es altamente dependiente de cultivar, y puede estar vinculada con mecanismos de resistencia. Posteriormente el crecimiento micelial avanza hacia la base de la flor. Por otro lado, la infección de granos se produce en la base, cerca del pedicelo, y puede interferir con el llenado de los mismos y/o causar una formación prematura de la capa negra. El crecimiento superficial visible del hongo (los primeros signos) se producen al final hiliar del grano, y posteriormente se extiende acrópetamente a la superficie pericarpio. En infecciones graves a campo se pueden observar granos color rosa, blanco, negro o el micelio del hongo y sus estructuras de resistencia en función a la especie de hongo.

Por otro lado, infecciones tardías pueden producir diferentes tipos de síntomas. En general, la colonización se produce principalmente en la parte expuesta del grano y puede estar limitada a esa área. Infecciones posmadurez en ambientes húmedos producen la "aparición mohosa" de grano de ahí el nombre de la enfermedad. El color del moho dependerá del tipo de patógeno involucrado. Algunos géneros de hongos pueden colonizar el pericarpio y descolorarlo sin penetrar en el interior de la capa de aleurona y endosperma, en éste caso, aunque la integridad del grano no es afectado, reduce el valor comercial debido a la aparición mohosa. La severidad del enmohecimiento es a menudo acentuado por la germinación prematura de las semillas, antes de la cosecha.

Las diferencias entre las infecciones tempranas y tardías pueden ser difíciles de identificar debido a que ambas infecciones se pueden dar juntas y que para el final del ciclo del cultivo una puede enmascarar a la otra.

Los agentes causales de la enfermedad son hongos pertenecientes a más de 40 géneros, pero sólo unos pocos infectan los tejidos de flores de sorgo durante las primeras etapas de desarrollo del grano. Estos son (en orden aproximado de importancia) *Fusarium moniliforme* Sheld., *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn, *Fusarium pallidoroseum* Berk. y Rav., y *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema, Dorenbosch, y van Kesteren. *F. moniliforme* y *C. lunata* son de importancia a nivel mundial.

Varios hongos causantes de enmohecimiento son productores de micotoxinas potentes que son perjudiciales para la salud y la productividad humana y animal. Micotoxinas tales como las fumonisinas, moniliformina, fusaproliferina, ácido fusárico, fusarinas, beauvericina y ácidos giberélicos son producidas por hongos que pertenecen a la sección Liseola del género *Fusarium* (Leslie 1999). Las fumonisinas son una familia de micotoxinas producidas por *F. moniliforme* y *F. proliferatum* (Matsushima) Nirenberg que además del sorgo, estos hongos comúnmente infectan además al maíz y el arroz.

Los daños generados por los hongos responsables de enmohecimiento son variables según año y localidad, siendo muy importantes las características anatómicas y morfológicas del grano, así también el contenido de tanino de los mismos. Los factores ambientales, como temperatura y humedad, permiten el rápido desarrollo de colonias pero la penetración de hifas en el grano se verá reducida cuando el cariopse presente: (1) un mesocarpio delgado, impermeable y brillante; (2) un elevado porcentaje de endosperma córneo; (3) la presencia de testa y pericarpio pigmentado; (4) un alto contenido de tanino; (5) un embrión pequeño y chato.

Las panojas semicompactas que favorecen el secado natural y la aireación de los granos disminuyen la incidencia del daño. Cabe destacar que las pérdidas de germinación por el enmohecimiento en precosecha son irreversibles y van en aumento en la medida que se posterga la recolección. Precipitaciones en el período de floración y formación de granos predisponen al desarrollo de la enfermedad.

Carbón de la panoja

Esta enfermedad es causada por el hongo *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton [sin. *Sphaceloteca reiliana* (Kühn) Clint] el cual también puede afectar otras especies como maíz y sorgo de Alepo.

Los síntomas de la enfermedad afectan generalmente las inflorescencias aunque ocasionalmente también puede afectar el follaje. Las panojas son reemplazadas total o parcialmente por una masa carbonosa cubierta por una membrana semejante a una bolsa o agalla blanco-rosada que en su interior contiene las teliosporas (Fig. 15.3). Cuando éstas se rompen, las teliosporas se dispersan a través del viento y la lluvia, permaneciendo en el suelo o se adhieren a la semilla. Cuando las semillas germinan las esporas infectan sistémicamente a las plantas. Otros síntomas pueden ser esterilidad de flores, cambios en la estructura de la panoja la cual se torna como pilosa, algunos cultivares se vuelven enanos debido a la falta de elongación del pedúnculo. Algunas plantas macollan más que otras lo cual produce más inóculo. Las plantas afectadas por carbón también poseen un sistema radicular débil lo que favorece la aparición de podredumbres basales.



Figura 15.3. Agalla blanca ocasionada por el carbón de la panoja en sorgo (*S. reilianum*).
Fuente: University of Georgia Plant Pathology Archive (2007)

Para el manejo se recomienda principalmente sembrar cultivares resistentes o los menos susceptibles dado que el control químico con fungicidas es poco efectivo. Si bien además se aconseja la rotación de cultivos, en áreas donde la enfermedad es endémica esta práctica no es de gran utilidad dado que la diseminación de inóculo es por viento y la viabilidad de las teliosporas en el suelo es muy prolongada. Algunas regiones sorgueras son más vulnerables que otras, lo cual sugiere que algunos tipos de suelo pueden ser supresivos para la enfermedad. Otras medidas de manejo son utilizar semilla curada control de plantas hospedantes.

Carbón volador

El carbón volador es ocasionado por *Sporisorium cruentum* (Kühn) K. Vánky [sin. *Sphacelotheca cruenta* (Kühn) A. A. Potter]. Esta enfermedad es menos común que el carbón de la panoja aunque a diferencia de éste, el carbón volador reduce el rendimiento de grano y forraje debido a que además de afectar el grano produce enanismo de plantas.

Las plantas afectadas por *S. cruentum* a veces se pueden detectar en estado de bota, antes de la emergencia de la panoja. Estas panojas, son más cortas y poseen pedúnculos más finos que las panojas sanas. Las panojas enfermas florecen prematuramente (dos o más semanas antes que las sanas). El hongo ataca los ovarios de las flores impidiendo la formación de los granos y provocando la aparición prematura de las panojas enfermas, las cuales son más verdes, abiertas y ramificadas. En las plantas enfermas se observan pústulas carbonosas o agallas en las flores, a veces en el raquis. Las agallas son largas y terminan en punta cubiertas por unas membranas que luego se rompen liberando las teliosporas. Además, se observa enanismo pronunciado de las plantas, por lo cual esta enfermedad disminuye la producción de forraje.

La supervivencia de las esporas en el suelo es baja, a diferencia del carbón cubierto, por lo que estas esporas no serían fuente de inóculo viable para la siguiente generación de sorgo, excepto en suelos secos. El hongo es transportado principalmente por semilla y cuando ésta germina el hongo penetra infectando sistémicamente la planta, observándose los síntomas descritos al aparecer las panojas, sin embargo la infección puede iniciarse a través de una espora llevada por el viento.

A diferencia del carbón cubierto (ver más adelante) esta patología afecta al crecimiento de la planta e induce a la proliferación de macollos secundarios. A su vez, las esporas del hongo pueden infectar inflorescencias tardías de plantas sanas. Para el manejo se recomienda el uso de cultivares resistentes y el tratamiento con curasemillas.

Carbón cubierto o carbón de los granos

El agente causal es *Sphacelotheca sorghi* (Link) Clinton. Generalmente esta enfermedad no modifica la altura o el diámetro de los tallos de manera que no afecta el rendimiento de forraje a diferencia del carbón volador.

S. sorghi afecta todos los granos de la inflorescencia, produciendo agallas en lugar de granos. Su nombre se debe a que las pústulas son más o menos persistentes. Estas agallas están cubiertas por una membrana de color gris claro o café, que se rompen al momento de la cosecha liberando las esporas, adhiriéndose a las semillas. Al sembrarse las semillas, las teliosporas germinan invadiendo los tejidos de las plántulas creciendo en forma sistémica detectándose la enfermedad solo a la salida de las panojas. Las panojas infectadas resultan tóxicas para el ganado.

Para su manejo se recomienda el tratamiento de semillas y cultivares resistentes. Existen numerosos fungicidas en el mercado utilizados para el tratamiento de semillas que proveen una protección completa frente al carbón cubierto. La utilización de fungicidas en la industria de semillas ha eliminado prácticamente la enfermedad de híbridos comerciales de sorgo.

Enfermedades causadas por bacterias

Lista bacteriana

Esta enfermedad es considerada la más común de las bacteriosis. Es ocasionada por la bacteria gran negativa *Burkholderia andropogonis* [sin. *Pseudomonas andropogonis* (Smith) Stapp] y posee un amplio rango de plantas huéspedes. Su patogenicidad ha sido detectada en más de cincuenta especies de mono y dicotiledóneas; huéspedes alternativos incluyen al maíz, teosinte, sorgo de Alepo, caña de azúcar, soja, garbanzo (*Cicer arietinum* L.), chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.), vicia (*Vicia* spp.), alfalfa (*Medicago sativa* L.) entre otras. Esta enfermedad raramente compromete los rendimientos en grano del cultivo y posee mayor importancia en sorgos forrajeros. Si el destino del cultivo es la exportación de alimento o semillas en algunos países es una importante barrera comercial.

B. andropoginis puede atacar las hojas y vainas en las que se observan rayas o estrías largas y estrechas de hasta 40 cm de color rojo, amarillo, púrpura o pardo, según el cultivar, que al principio están delimitadas por las nervaduras y luego terminan por confluir. Las lesiones también pueden aparecer sobre el raquis, pedúnculo, el grano y dentro del tallo. Sobre las manchas pueden observarse gotas de exudados bacteriano rojizos que luego se desecan escamándose o se lavan con la lluvia. Las estrías pueden tornarse de color castaño. Finalmente, las hojas se desintegran y se secan. En plantas jóvenes se produce la detención del crecimiento.

En tanto que la diseminación de la bacteria a cortas distancias se puede producir mediante gotas de lluvia o viento, a largas distancias su principal dispersión se debe a semillas infestadas.

Estría bacteriana

Esta afección es ocasionada por la bacteria gran negativa *Xanthomonas campestris* pv *holcicola* (Elliott) Starr y Burkholder. Algunos huéspedes alternativos pueden ser maíz, sorgo de Alepo, sudangrass, y mijo.

Los síntomas de la enfermedad se observan en las hojas como estrías o bandas más cortas que las producidas por *B. andropogonis* (pueden alcanzar los 15 cm de longitud), de aspecto húmedo y transparente, al principio de color amarillento y luego rojizas con centros pajizos, también castaño claro en las zonas ensanchadas. En algunos casos, las estrías se ensanchan formando lesiones ovales o irregulares con centros rojizos y márgenes rojos a diferencia de la lista bacteriana. A lo largo de su extensión pueden presentar exudados en forma de gotas escamosas. La enfermedad aparece durante todo el desarrollo de la planta y puede causar la reducción de la superficie foliar. Es importante en sorgo de escobas y negro. Al igual que *B. andropogonis*, la principal vía de diseminación a largas distancias es por semillas infestadas y en muchos países es utilizada como una barrera comercial.

Para el manejo de ambas bacteriosis se recomienda utilizar semillas desinfectadas, variedades resistentes o tolerantes, efectuar rotaciones, dentro del lote controlar malezas como sorgo de Alepo y siembras no muy densas.

Enfermedades causadas por virus

Virus del mosaico enanizante del maíz y sorgo (Maize Dwarf Mosaic Virus)

Esta virosis afecta al maíz, sorgo, sorgo de Alepo, caña de azúcar y pata de gallina (*Eleusine indica* L.). Es un virus transmitido por diferentes especies de pulgones, siendo el más importante el pulgón verde. Toler & Frederiksen (1971) nombraron trece especies de áfidos vectores pero más de veinte especies han sido descubiertas (Toler, 1985).

El virus primeramente infecta al sorgo de Alepo y otras malezas rizomatosas en los cuales se perpetúa año a año, de allí los pulgones lo transmiten a los sorgos cultivados. Los síntomas de la enfermedad son difíciles de describir dado que los diferentes cultivares son afectados de manera distinta por el virus. Estos factores además interactúan con el estado fenológico del cultivo y las condiciones ambientales posteriores a la infección.

Inicialmente se observa una decoloración en el tejido internerval de la lámina de las hojas superiores de la planta (Fig.15.4A). Los síntomas que puede ocasionar son variables pudiendo ser mosaicos (alternancia de áreas cloróticas y verdes), moteados, anillos y en plantas con pigmentación roja, franjas elongadas con centros necróticos y márgenes rojizo intenso (veteado rojo) y dependiendo del cultivar estrías necróticas. Si las plantas son afectadas tempranamente, puede retrasarse notoriamente el crecimiento, y con el tiempo se tornan totalmente cloróticas, pudiendo observarse enanismo por acortamiento de entrenudos (Fig.15.4B). Otro síntoma que puede observarse es la reducción del tamaño de la panoja, la que se presenta con coloraciones rojizas y con presencia de granos chuzos. En los casos más críticos sobreviene la muerte de las plantas infectadas. La sintomatología descrita puede resultar enmascarada debido a otras enfermedades que afectan el área foliar del sorgo.

Para el manejo de la virosis se recomienda utilizar híbridos resistentes o tolerantes, siembras tempranas y el control de sorgo de Alepo y malezas perennes dentro y alrededor del lote.



Figura 15.4. **A.** Decoloración en el tejido internerval de la lámina de las hojas ocasionadas por el virus. **B.** Enanismo ocasionado por el virus debido al acortamiento de los entrenudos. Fuente: Hansen (2007a; b) respectivamente

Bibliografía

- Agrios G. N. (2005). *Introduction*. En: Plant Pathology. Elsevier (ed.) 5th Edition, Estados Unidos Academic Press. pp. 3-75.
- Anahosur K.H., Rajsekhar B.G., & Goudreddy B.S. (1977). *Effect of nitrogenous fertilizer on the incidence of charcoal rot of sorghum*. Sorghum Newsletter 20:23-24.
- Brock J. (2011). *Charcoal rot (Macrophomina phaseolina) Sign on corn*. University of Georgia. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5447500> Último acceso: Junio de 2015.
- Chinnadurai G. (1971). *The role of fertilizers on the incidence of sugary diseases in sorghum*. Tropical Agriculture, Trinidad 48: 51-53.
- Clemson University. (2002). *Anthracoze (Colletotrichum graminicola) Symptoms on sorghum*. USDA Cooperative Extension Slide Series. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1436032> Último acceso: Junio de 2015.
- Clemson University. (2006). *Anthracoze (Colletotrichum graminicola) Symptoms on sorghum*. USDA Cooperative Extension Slide Series. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1235209> Último acceso: Junio de 2015.
- Cordo A.C. (2014). *Patologías del trigo*. En: Enfermedades del Trigo, Avances científicos en la Argentina. Cordo A.C. y Sisterna M. N. (Coord.); 1^{er} Edición, Editorial EDULP. pp. 21-56.
- Frederiksen R. A. & Odvody G. N. (2000a). *Introduction*. En: Compendium of sorghum diseases. 2nd edition, St. Paul, Minnesota, USA: American Phytopathological Society. pp. 1 – 4.
- Frederiksen R. A. & Odvody G. N. (2000b). *Part I: Biotic Diseases*. En: Compendium of sorghum diseases. 2nd edition, St. Paul, Minnesota, USA: American Phytopathological Society. pp. 5 – 56.
- Hansen M.A. (2007a). *Maize Dwarf Mosaic Virus (Potyvirus MDMV) Symptoms on sorghum*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5332040> Último acceso: Junio de 2015.
- Hansen M.A. (2007b). *Maize Dwarf Mosaic Virus (Potyvirus MDMV) Symptoms on sorghum*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5332041> Último acceso: Junio de 2015.
- Kemerait B. (2012). *University of Georgia Philippine downy mildew (Peronosclerospora philippinensis) Symptoms on corn*. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/subthumb.cfm?sub=11865> Último acceso: Junio de 2015.
- Leslie J. F. (1999). *Genetic status of the Gibberellafujikuroi species complex*. Plant Pathology Journal 15:259–269.
- Naik S.M., Singh S. D. & Singh B. P. (1976). *Effect of nitrogen fertilization on the incidence of the leaf spot diseases of sorghum*. Indian Journal of Mycology and Plant Pathology 61:145-147.
- Novell D.C. (2012). *Puccinia purpurea on Sorghum bicolor*. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Puccinia_purpurea.jpg. Último acceso: Junio de 2015.

- Pérez Fernández J. (2011). *Ergot o rocío azucarado del sorgo*. INTA-Estación Experimental Anguil, La Pampa. 5 pp. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/201cergot201d-o-rocio-azucarado-del-sorgo/> Último acceso: Mayo de 2015.
- Rabbinge R. (1993). *The ecological background of food production*. En: Crop Protection and Sustainable Agriculture. Ciba Foundation 77. D. J. Chadwick and J. Marsh, eds. John Wiley & Sons, Chichester, UK. pp 2-29.
- Toler R. W. (1985). *Maize dwarf mosaic, the most important virus disease of sorghum*. Plant Disease 69:1011-1015.
- Toler R. W. y Frederiksen R. A. (1971). *Sorghum Diseases*. En: Grain Sorghum Research in Texas, 1970. Rooney L. (ed.) Texas A&M University, College Station, TX; USA.PR-2939.
- University of Georgia Plant Pathology Archive. (2007). *Head smut (Sphacelotheca reiliana)* Symptoms on grain sorghum. University of Georgia. Disponible en: <http://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1493110> Último acceso: Junio de 2015.
- Velázquez P. D. & Formento A.N. (2014). *Ergot o enfermedad azucarada del sorgo en Entre Ríos*. Ciclo agrícola 2013/14. INTA- Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/ergot-o-enfermedad-azucarada-del-sorgo-en-entre-rios.- ciclo-agricola-2013-14/> Último acceso: Mayo de 2015.
- Wiik L. (2009). *Control of fungal diseases in winter wheat*. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp. pp. 19.

CAPÍTULO 16

Sorgo: Manejo de plagas

María Rosa Simón

Introducción

Similares consideraciones que las realizadas en plagas de maíz, sobre la interacción entre las plagas y los cultivos pueden aplicarse en sorgo, como así también las referentes al efecto de las plagas en las características ecofisiológicas del sorgo. Las plagas más frecuentes de este cultivo que pueden considerarse como principales son la mosquita del sorgo, *Contarinia sorghicola* (Coq), pulgón verde *Schizaphis graminum* (Rond.), y el barrenador del tallo (*Diatraea sacharalis*). Ellas ocasionan daños graves y/o persistentes en campañas agrícolas sucesivas, con niveles poblacionales que exceden el umbral de daño económico.

Asimismo, existe un grupo de plagas “ocasionales” que pueden producir daño de importancia en determinadas áreas y en ciertas oportunidades, por ello sólo ocasionalmente requieren control con insecticidas. En esta categoría se incluye al gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Smith), chinche verde *Nezara viridula* (L), astilo moteado *Astylus atromaculatus* Blanch; pulgón del maíz *Rhopalosiphum maidis* (Fitch); orugas cortadoras *Agrotis*, *Peridroma*, gusanos del suelo (*Scarabidae*, *Dynastidae*), gusano alambre (Elateridae), barrenador menor del tallo *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller), orugas defoliadoras *Pseudaletia*, oruga de la panoja *Helicoverpa zea* (Boddie), tisanópteros del genero *Frankliniella* y hormigas podadoras *Acromymex* y *Atta*.

Los gusanos del suelo, gusanos cogolleros, chinches verdes, pulgón del maíz, orugas cortadoras, gusano alambre, orugas defoliadoras, oruga de la panoja, trips, hormigas, han sido descritos en el capítulo de plagas de maíz, por lo que en este capítulo se describirán aquellos que no se han mencionado en dicho capítulo.

Pulgón verde de los cereales

Agente causal: *Schizaphis graminum* (Rond.)

Ciclo, sintomatología y daños: Este áfido es de color verde claro con una franja oscura en el dorso del abdomen, con los extremos de patas y sifones negros (Fig.16.1A). La característica diferencial en la forma alada es la vena media bifurcada en el ala anterior. Si bien en una colonia pueden encontrarse ápteros y alados, la mayor proporción de estos

últimos se produce al final de la infestación y son estos últimos los colonizadores de nuevos cultivos, ya que pueden recorrer grandes distancias ayudados por el viento. La reproducción típica de esta especie es por partenogénesis aunque fueron observadas formas sexuadas en el biotipo 1976. Las hembras son vivíparas y pueden dar a luz más de 100 ninfas. El periodo ninfal se extiende por 5 a 10 días y el periodo reproductivo puede durar más de 30 días. El aparato bucal es de tipo picador succionador (Suárez & Figueruelo 2012).

Los primeros áfidos aparecen poco tiempo después de la emergencia de la plántula, procedentes de gramíneas, principalmente del sorgo Alepo. El crecimiento de la población del pulgón en esta etapa es muy lento, lo que está determinado en cierta forma por efecto de predadores (larvas de moscas sírfidas y coccinélidos) y lluvias. Entre los 30 y 45 días posteriores a la emergencia la tasa de crecimiento es importante, observándose incrementos exponenciales que lograrán picos máximos durante el período que transcurre entre la floración y la formación de grano. Finalmente, coincidentemente con la fase de grano pastoso y madurez fisiológica, la población decrece principalmente por la mortalidad causada por hongos y por migración de la forma alada.

Las plantas de sorgo atacadas por el pulgón verde, presentan pequeñas puntuaciones rojizas-necróticas en sus hojas provocadas por la saliva tóxica de este áfido. Generalmente las colonias se encuentran en la base y envés de las hojas y progresan hacia el extremo a ambos lados de la nervadura central, desde las hojas inferiores hacia las superiores. Además de la reducción del área foliar con el consecuente menor peso de los granos, los pulgones son importantes transmisores de virus que incidirán directa o indirectamente en el rendimiento de la planta. Los daños son producidos por la extracción de savia y la inyección de saliva tóxica que destruye los tejidos vegetales produciendo la muerte parcial o total de las hojas según el grado de desarrollo de las mismas y el número de pulgones presentes. En ataques tempranos, las pequeñas plantas del huésped pueden resultar destruidas totalmente. Cuando el cultivo se encuentra más desarrollado, las pérdidas ocasionadas por este insecto son variables (25-60 % de disminución del rendimiento) y dependen de las condiciones del cultivo (fertilidad, stand de plantas, etc.) y climáticas (temperatura, precipitaciones). A los daños directos (inyección de toxinas) causados por este pulgón, hay que agregar los daños indirectos que ocasionan debido a la transmisión de importantes virus (virus del enanismo amarillo) e importantes pérdidas por vuelco de las plantas a la madurez (Suárez y Figuerelo, 2012).

Control: La siembra de híbridos resistentes es recomendable para disminuir la incidencia de esta plaga. Si se siembran híbridos susceptibles se recomienda efectuar tratamientos con insecticidas registrados de acuerdo a los siguientes umbrales: plántula: 5 a 10 pulgones/planta y colonias en aumento; estado de panoja embuchada a grano lechoso 2 hojas inferiores muertas (causada por el pulgón) y colonias del insecto en franco aumento. Aumentando la densidad de siembra se ha observado un número menor de áfidos. Cultivos establecidos en siembra directa son colonizados por un número menor de pulgones comparados con cultivos establecidos en siembra convencional. En nuestra región existen enemigos naturales que efectúan el control biológico eficientemente, limitando el desarrollo

de altas poblaciones de esta plaga (coleópteros, dípteros, himenópteros). También hay hongos entomopatógenos, efectivos en condiciones de alta humedad relativa (Suárez y Figuerelo, 2012).

Asimismo existen posibilidades de utilizar otros medios de control como: resistencia genética a través de híbridos tolerantes y el uso de insecticidas.



Figura 16.1. A. Pulgón verde de los cereales. B. Mosquita del sorgo C. Astilo moteado. Fuente: Loeffler (2011), Alton & Sparks (2003) y Schalk (2014) respectivamente

Mosquita del sorgo

Agente causal: Stenodiplosis sorghicola (Coq)= *Contarinia sorghicola* (Coq)

Ciclo, sintomatología y daños: La “mosquita del sorgo”, es de distribución universal debido al transporte de la forma de resistencia de la plaga (larva invernante) dentro de las espiguillas vanas. El adulto es un díptero pequeño de color rojizo anaranjado caracterizándose el macho por su menor tamaño y antenas tan largas como el cuerpo. La hembra de abdomen más voluminoso tiene antenas cortas y ovipositor retráctil, vive 2 días y oviposita en ese período 80 a 100 huevos en las espiguillas al momento de antesis (Fig.16.1B).

La larva de color rosado anaranjado, es el verdadero estado dañino de la plaga. Alojadas en el interior de las espiguillas succionan los jugos del ovario fecundado impidiendo su desarrollo. Una importante proporción de estas pupará y a los pocos días emergerán los adultos, cumpliendo un ciclo denominado corto en apenas 14-20 días en promedio. El resto, completado su máximo desarrollo larval elabora un capullo donde permanecerá invernando hasta la próxima primavera, luego pupará y el adulto así habrá cerrado el llamado ciclo largo de la especie (Frana & Imwinkelried, 1986). Esta proporción de invernantes es baja en las primeras generaciones, incrementándose progresivamente hasta lograr un máximo de aproximadamente 50% en las últimas floraciones del cultivo.

La captura de adultos a través de los doce meses permite establecer que este insecto se encuentra presente todo el año, aún en época invernal aunque con muy bajas densidades. Las primeras generaciones se desarrollan sobre panojas de sorgo de Alepo desde octubre en adelante, pero se dan incrementos significativos en diciembre y enero en el cultivo de sorgo, para alcanzar niveles críticos entre mediados de febrero, y

fines de marzo. Si hay daño los granos quedarán vanos y al apretarlos se obtendrá de su interior un jugo rojizo.

Control: La forma de detectar la mosquita es en el momento de floración, a media mañana o al atardecer que es cuando tienen mayor actividad "aplaudiéndolas". También cubriendo la panoja con una bolsa de plástico transparente y sacudiéndola. Como medidas de control se encuentran la época de siembra temprana para anticiparse al periodo crítico de infestación, de manera que florezcan antes de fines de febrero. También la siembra óptima en distancia entre plantas y profundidad, como así también evitar las siembras escalonadas tendientes a lograr floraciones cortas y uniformes (Carrasco *et al.*, 2011). Finalmente, la rotación de cultivos, la incorporación y destrucción de los rastrojos junto al manejo de las hospederas naturales, constituyen tácticas para disminuir la población de invernantes y los adultos provenientes de ella.

Para las siembras tardías, el control químico dirigido a los adultos es una solución. Para ello, se deberá detectar la presencia de las hembras ovipositando en horas cercanas al mediodía. La decisión de control deberá adoptarse de acuerdo con el nivel de daño económico que para híbridos susceptibles es de una a dos mosquitas por panoja, considerando dos aplicaciones de insecticidas. El momento óptimo es realizar la primera de ellas al quinto o sexto día de comienzo de floración del lote y la segunda tres o cuatro días después.

Astilo moteado o "Siete de oro".

Organismo causal: *Astylus atromaculatus*

Ciclo, sintomatología y daños: Este insecto produce daños en el sorgo durante el periodo de floración y llenado de grano. El adulto, que es el que causa daño, tiene alas amarillas moteadas de negro y el abdomen negro (Fig.16.1C). La larva mide de 12 a 15 mm de longitud, es de color marrón rojizo y cubierta de pelos largos y sedosos. Los adultos presentan el abdomen negro mientras que el tórax y las alas anteriores son amarillos con manchas negras, las larvas miden 12 a 15 mm. de longitud, son de color marrón rojizo y están cubiertas de pelos largos y sedosos y se enroscan al ser molestadas. Viven en el suelo y se alimentan de las semillas y tallos de plántulas de cultivos de verano. Los adultos aparecen en el verano y se alimentan de polen de girasol, maíz, sorgo y otras plantas (Suárez y Figueruelo, 2012). Se suelen encontrar sobre las panojas de sorgo en gran cantidad, ocasionalmente producen daño en los granos que pueden ser roídos en estado pastoso quedando el grano hueco. El resultado son panojas mal granadas, granos comidos, con las consecuentes mermas de rendimiento cuando los ataques son importantes.

Control: Tiene mucha actividad en días de elevada temperatura, y se traslada fácilmente de un cultivo a otro por su gran capacidad de vuelo por lo que tiene capacidad para trasladar esporas como *Fusarium ssp.* a las espigas de maíz o panojas de sorgo. Esta característica dificulta su control, aunque el daño que producen suele no ser muy importante, ya que predominantemente consumen polen y sólo ocasionalmente afectan el grano

Bibliografía

- Alton N. & Sparks, Jr. (2003). *Sorghum midge Contarinia sorghicola*. University of Georgia, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1327122> Último acceso: Junio de 2015.
- Loeffler K. (2011). *Schizaphis graminum oat usda*. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schizaphis_graminum_oat_usda.jpg Último acceso: Junio de 2015
- Suárez A. & Figueruelo, A. (2012) *Insectos en sorgo: Identificación y manejo*. En: El cultivo de sorgo en San Luis. J.C. Colazo, J.A. Garay, J.H. Veneciano (Eds.). EEINTA Anguil pp48-53.
- Frana, J. & Imwinkelried, J.M. (1986). *Control integrado de plagas de sorgo en la República Argentina*. En: Control de Plagas en Maíz y Sorgo. Diálogo XXV. J. Puignau (Ed.). Embrapa, Sete Lagoas. Brasil 13 al 18 de octubre de 1986.
- Carrasco, N., Zamora, M., Melin, A., Bolletta, A., Marinissen, J., Gigón, R., Forján, H., Lagrange, S., Campos, P., Manso, L. & Cicchino, M. Plagas del sorgo. En: Manual del Sorgo. N. Carrasco, M. Zamora & A. Melin (Eds.) pp. 53-58.
- Schalk C. (2014). *Astylus atromaculatus*. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Astylus_atromaculatus_Coetze2.jpg Último acceso: Junio de 2015.

CAPÍTULO 17

Sorgo: Manejo de las malezas

Soledad Zuluaga, Silvina Golik,

María Constanza Fleitas y Carlos Campanela

Las malezas son una de las principales limitaciones a la producción de los agroecosistemas, compiten con el cultivo de sorgo por luz, agua y nutrientes con diferente intensidad, dependiendo del momento relativo de emergencia del cultivo y de la maleza, de la agresividad de esta última y de las condiciones ambientales (fundamentalmente de la humedad y la fertilidad del suelo). El sorgo normalmente tiene un crecimiento muy lento en sus primeras etapas de desarrollo, y por ello es mal competidor en esas etapas frente a las malezas. Se considera que el sorgo debería estar libre de malezas durante los primeros 30- 40 días desde su nacimiento (período crítico de control de malezas) días para evitar una reducción significativa de la producción (Chessa, 2004; Carrasco *et al.*, 2011; Gigón *et al.*, 2012).

Por otro lado la idea que las malezas pueden ser eliminadas a través del uso únicamente de productos químicos, debe dar paso a una idea de manejo a largo plazo donde se busque mantener sus poblaciones por debajo de ciertos umbrales, compatibles con una producción económica y ambientalmente sustentable. A nivel práctico, conociendo las características del cultivo, las malezas presentes y la tecnología aplicada, pueden diseñarse manejos que permitan evitar los efectos negativos que producen, es decir, realizar un MIM, utilizando herramientas de manejo como: aumento de la densidad, disminución de la distancia entre hileras, manejo de la fecha de siembra, utilización de variedades con mayor habilidad competitiva y el uso adecuado de la fertilización. Si bien estas técnicas se conocen desde hace muchos años, el control mediante herbicidas sigue siendo la tecnología más efectiva y la más utilizada por parte de los productores.

En el cultivo de sorgo la malezas, ya sean gramíneas y latifoliadas, pueden provocar entre 30 a 70% pérdidas en el rendimiento, más aún, si consideramos que el sorgo granífero se siembra en una época donde se ve favorecido el desarrollo de numerosas especies de malezas de ciclo anual, que pueden competir fuertemente con el sorgo en zonas donde la disponibilidad hídrica es limitada (Rodríguez, 2003; Rodríguez *et al.*, 2012). Entre las malezas más frecuentes, bajo la labranza tradicional, encontramos las detalladas en la Tabla 17.1 ((Figs. 17.1 a 17.5). Bajo siembra directa, sistema más utilizado en la actualidad, han surgido otras malezas como: *Hypochoeris chilensis*, *Gamochaeta subfalcata*, *Sonchus asper*, *Conyza bonariensis*, *Chondrilla juncea*, *Gamochaeta pennsylvanica*, *Ambrosia tenuifolia*, *Raphanus sp.*, *Verónica arvensis*.

Tabla 17.1. Malezas más comunes en el cultivo del sorgo

LATIFOLIADAS		GRAMINEAS Y CIPERACEAS	
Nombre vulgar	Nombre científico	Nombre vulgar	Nombre científico
Abrojo	<i>Xanthium canavillesii</i>	Cebollín	<i>Cyperus rotundus</i>
Cardo ruso	<i>Salsola kali</i>	Colas de zorro	<i>Setaria</i> spp.
Cepa caballo	<i>Xanthium spinosum</i>	Gramón	<i>Cynodon dactylon</i>
Chamico	<i>Datura ferox</i>	Pasto colorado	<i>Echinochloa colonum</i>
Enredadera anual	<i>Polygonum convolvulus</i>	Sorgo de Alepo	<i>Sorghum halepense</i>
Malva	<i>Malva parviflora</i>		
Morenita	<i>Kochia scoparia</i>		
Quínoa	<i>Chenopodium quinoa</i>		
Santa María	<i>Verbesina encelioides</i>		
Sunchillo	<i>Wedelia glauca</i>		
Suspiros	<i>Ipomoea oleracea</i>		
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>		
Yuyo colorado	<i>Amaranthus quitensis</i>		
Zapallito amargo	<i>Cucurbita andreana</i>		

Latifoliadas

Amaranthus quitensis "yuyo colorado"
Chenopodium quinoa "quinoa"
Cucurbita andreana "zapallito amargo"
Datura ferox "chamico"
Kochia scoparia "morenita"
Malva parviflora "malva"
Polygonum convolvulus "enredadera annual"
Portulaca oleracea "portulaca"
Salsola kali "cardo ruso"
Wedelia glauca "sunchillo"
Xanthium canavillesii "abrojo"
Xanthium spinosum "cepa caballo"

Gramíneas y Ciperáceas

Cynodon dactylon "gramon"
Cyperus rotundus "cebollín"
Echinochloa colonum "pasto colorado"
Setaria spp. "cola de zorro"
Sorghum halepense "sorgo de Alepo"

Momentos de aplicación de los herbicidas

Actualmente, prácticamente todo el sorgo se siembra bajo siembra directa. Bajo esta modalidad de siembra, el principal momento de uso de herbicidas es durante el barbecho. En este momento se pueden usar los herbicidas que se detallan en la Tabla 17.2.

Muchas veces, ese control no llega a ser suficiente para cubrir todo el periodo crítico de control de malezas, siendo necesaria, su aplicación en otro momento del cultivo: **presembrado, preemergencia y postemergencia temprana** (Tabla 17.3).

Se aconseja no usar para sorgo granífero lotes invadidos con sorgo de Alepo, cebollín, gramón y sunchillo, puesto que los tratamientos para estos casos no son selectivos y si el sorgo ya ha nacido, puede morir por la acción de esos productos, por lo que los tratamientos deben realizarse sólo en preemergencia del cultivo. El sorgo es susceptible a los gramínicos, por lo que nunca debe sembrarse en lotes cuyo cultivo anterior fue tratado con imazetapir, por el peligro de efecto fitotóxico residual.

Tabla 17.2. Herbicidas para Labranza reducida y Siembra directa en barbechos químicos previos a la siembra de sorgo. Adaptado de Rodríguez (2003).

Herbicidas	Dosis- Formulado L.ha ⁻¹	
Atrazina 50%	2-3	Se puede mezclar con paraquat o glifosato, dicamba o 2,4-D con adjuvantes apropiados.
Atrazina+dimetanamida	2+1	Puede mezclarse con herbicidas de contacto si existen malezas nacidas en el momento de la aplicación
Atrazina+metolaclor Atrazina+metolaclor-S	2+2 2+0,8-1,0	Puede mezclarse con herbicidas de contacto si existen malezas nacidas en el momento de la aplicación.
Dicamba	0,1-0,2	Aplicar en los barbechos, pero con precaución antes de la siembra del sorgo. Control de malezas anuales y algunas perennes.
Dicamba+ 2,4-D	0,1-0,15 + 0,5-0,7	Aplicar no menos de 15 días antes de la siembra de sorgo.

Glifosato	2-3	Mezclas con 2,4-D o dicamba amplían el espectro de control.
Paraquat	1,5-2	Es un herbicida no selectivo, no residual, de acción de contacto, para el quemado en presembrado en malezas anuales de 2 a 15 cm de altura. Puede mezclarse con 2,4-D para aumentar espectro o controlar malezas perennes.
2,4-D éster	0,3-0,7	Aplicaciones próximas a la siembra pueden provocar fitotoxicidad al sorgo. Puede mezclarse con glifosato, dicamba y herbicidas residuales.

Es frecuente la aparición de síntomas de cierta “incompatibilidad” entre las formulaciones de atrazina y glifosato. Dichos síntomas pueden ser: a) cierta demora del control final que el glifosato logra sobre las malezas. b) una floculación (una mayor concentración) de la atrazina hacia la zona inferior de la mezcla en el tanque de la pulverizadora. Se ha demostrado que la acción más lenta de glifosato en mezcla con atrazina se debe a los inertes de tipo arcilloso que participan en las formulaciones de todos los herbicidas de la familia de las triazinas. Esos inertes arcillosos suelen adsorber el principio activo del glifosato reduciéndole su capacidad para penetrar en las malezas y translocarse en su interior. Podría compararse ese efecto con el de la materia orgánica o arcilla en suspensión en un agua sucia que se usara para la aplicación de glifosato (Rodríguez *et al.*, 2012).

En **preemergencia** del cultivo, el herbicida más utilizado es la atrazina, que permite controlar la mayoría de las malezas de hoja ancha, como asimismo a ciertas gramíneas anuales como cola de zorro y pasto colorado. Es importante, para que produzca el control esperado, que se incorpore al suelo ya sea mecánicamente en siembra convencional o a través de la lluvia en siembra directa. En suelos franco arenosos, con bajo contenido de materia orgánica, la atrazina suele provocar fitotoxicidad al cultivo. El daño se manifiesta por un raleo de plantas (mortalidad de hasta un 50%) y menor crecimiento inicial. Su fitotoxicidad se asocia con la ocurrencia de lluvias intensas postaplicación, que provocan la incorporación del producto en el suelo y su permanencia en la fase soluble. Esto resulta agravado por condiciones ambientales de estrés (por temperatura baja o por muy bajo o muy alto contenido de agua en el suelo) (Rodríguez *et al.*, 2012). No obstante la fitotoxicidad en el cultivo de sorgo también puede deberse a: a) dosis excesivas, b) momento de aplicación inapropiado, c) cultivares sensibles, d) mezcla con otros productos, e) condiciones climáticas adversas, f) aplicaciones incorrectas por deriva, entre otras. Estos distintos tipos de daño pueden no tener implicancia directa sobre los rendimientos,

perola recuperación total del cultivo puede retrasarse por condiciones de estrés hídrico, temperatura, enmalezamiento, baja fertilidad, limitaciones de suelo, y/o por el momento del ciclo del cultivo en el que el daño fue producido (Rodríguez *et al.*, 2012).

Para el control químico de gramíneas anuales, en preemergencia, una de las mejores estrategias es el uso de metolacoloro, o su mezcla con atrazina.

En **postemergencia**, los herbicidas más utilizados son el 2,4 D, MCPA, Picloram y Dicamba. Para el 2,4 D, la formulación más común y agresiva es la de éster isobutílico. Debido a que volátil, se debe tener especial cuidado de no dañar cultivos cercanos (INTA, 2007). El MCPA es menos agresivo que el 2,4 D, y su forma de uso más común es como sal sódica. Ambos productos controlan un amplio espectro de malezas latifoliadas, entre las que pueden mencionarse: quínoas, Santa María, suspiros, yuyo colorado, cepa caballo, morenita, abrojo, verdolaga y cardo ruso. Tanto el picloram como el dicamba poseen mayor poder residual que los anteriores, por lo que se debe prestar atención de no sembrar cultivos sensibles a estos herbicidas como sucesores del sorgo en la rotación. Son más activos que el 2,4 D y el MCPA y, si se los usa en mezclas con estos productos, se logra un amplio control de malezas abarcando malezas poco susceptibles como chamico, malva y verdolaga, y de algunas otras que estén en un estado avanzado de desarrollo.

Tabla 17.3. Herbicidas para control de malezas en sorgo granífero. Tratamientos presiembra, preemergencia y posemencia. Adaptado de Rodríguez (2003).

Herbicidas	Dosis L.ha ⁻¹	
Atrazina 50%	2-3	Bajo labranza convencional puede ser usado en presiembra incorporado, en preemergencia y postemergencia . Puede mezclarse con 2,4-D, bromoxynil, dicamba. Bajo siembra directa la dosis depende de la cobertura de residuos. Controla malezas de hoja ancha y gramíneas de semilla pequeña. Tiene actividad parcial sobre gramíneas anuales y de hoja ancha de semilla grande.
Atrazina+dimetanamida	2+1	Aplicar antes, durante o luego de la siembra del sorgo. La dosis es variable de acuerdo a la textura del suelo y la cobertura de residuos. La semilla del sorgo debe estar protegida con antídotos

Atrazina+metolaclor Atrazina+metolaclor-S	2+2 2+0,8-1,0	Aplicar antes, durante o luego de la siembra del sorgo. La dosis es variable de acuerdo a la textura del suelo y la cobertura de residuos. La semilla del sorgo debe estar protegida con antidotos.
Dimetanamida	0,8-1,2	Aplicar en presiembr a incorporada (2.5-5 cm) o en preemergencia . Controla la mayoría de las gramíneas anuales y de hoja ancha de semilla pequeña. La dosis es variable de acuerdo a la textura del suelo y la cobertura de residuos. La semilla del sorgo debe estar protegida con antidotos.
Metolaclor-S	0,6-1,2	Aplicar en presiembr a incorporada (2.5-5 cm) o en preemergencia . Controla la mayoría de las gramíneas anuales y de hoja ancha de semilla pequeña. Las dosis dependen de la textura del suelo y la cobertura de residuos. Aplicar solamente en potreros que vayan a ser sembrados con sorgo con semilla protegida con antidotos.
Penoxalin	1,5-2,0	Aplicar en posemergencia incorporada . Controla la mayoría de las gramíneas anuales y de hoja ancha de semilla pequeña. Excelente en el control de <i>Cenchrus</i> sp.
Dicamba	0,1-0,2	Se recomienda su uso en posemergencia , entre los 10-25 días de nacido el sorgo o antes que el mismo alcance los 40 cm de altura Control de malezas anuales y algunas perennes. Se puede mezclar con atrazina y otros herbicidas como 2,4-D.
2,4-D éster o sal amina	0,5-0,7	Usar en posemergencia , cuando el cultivo tiene más de 10 cm altura hasta 25 cm. Control de malezas anuales y algunas perennes. Se puede mezclar con atrazina y otros herbicidas como dicamba.

También pueden utilizarse en postemergencia, para el control de malezas latifoliadas, Bromoxynil y Bentazon, sólo o en mezclas. Actúan principalmente por contacto, por lo que resulta indispensable mojar bien las malezas a eliminar, requiriendo altos volúmenes de aplicación (superiores a los 150 litros por hectárea).

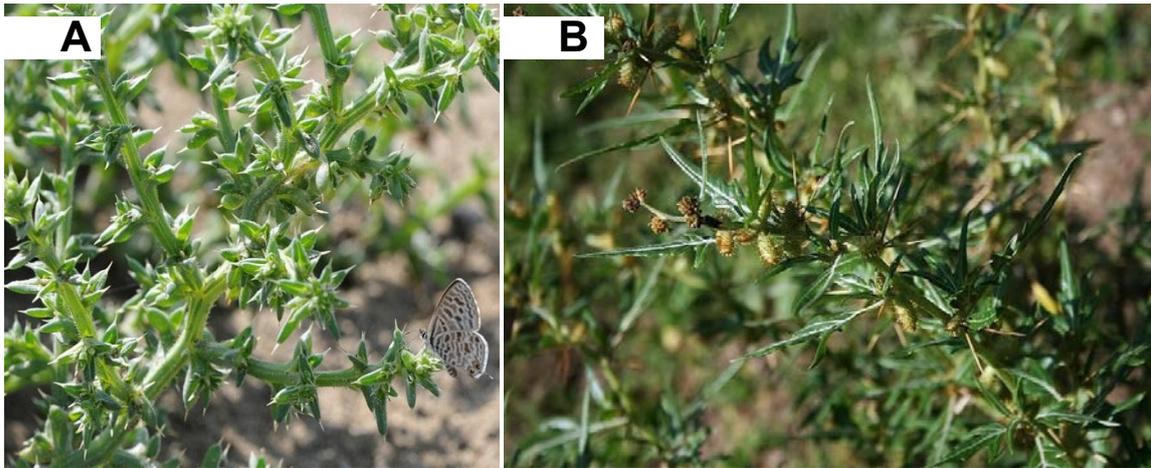


Figura 17.1. A. *Salsola kali*. B. *Xanthium spinosum*. Fuente: Cebeci (2014) y Xaver (2013) respectivamente



Figura 17.2. A. *Kochia scoparia*. B. *Chenopodium quinoa*. Fuente: Samanek (2007) y Evans (2004)

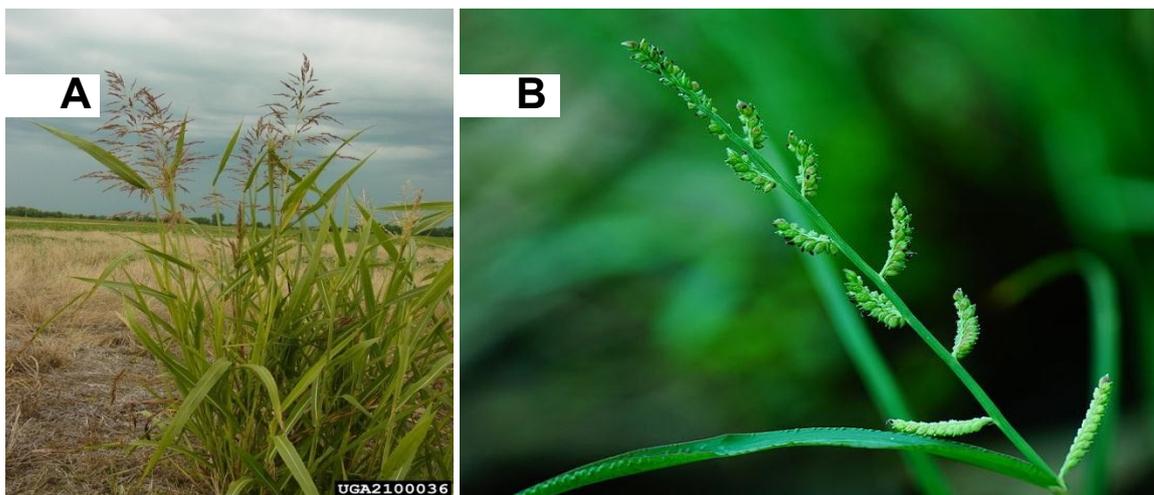


Figura 17.3. A. *Sorghum halepense*. B. *Echinochloa colona*. Fuente: Bryson (2005) y Vengolis (2013) respectivamente

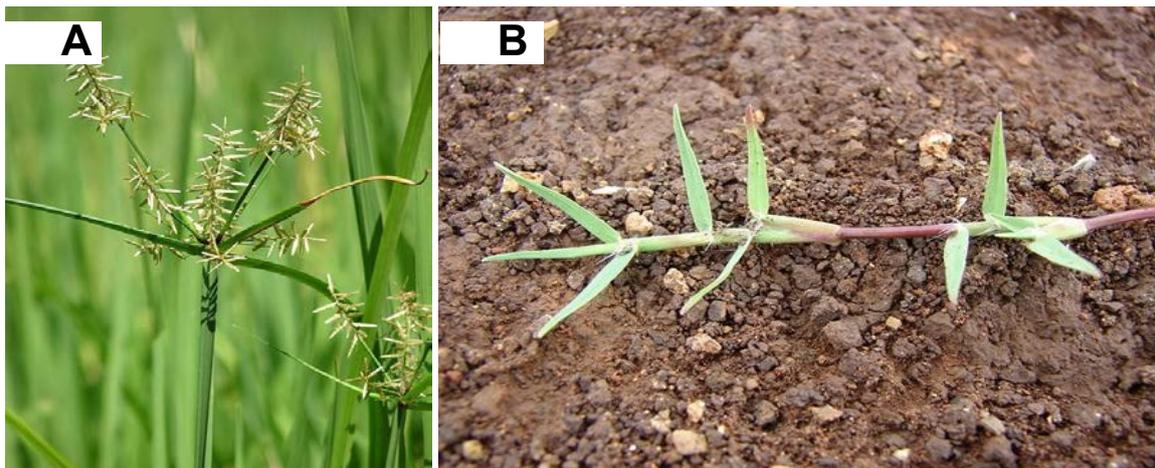


Figura 17.4. A. *Cyperus rotundus*. B. *Cynodon dactylon*. Fuente: Jeevan (2009) y Starr & Starr (2008) respectivamente

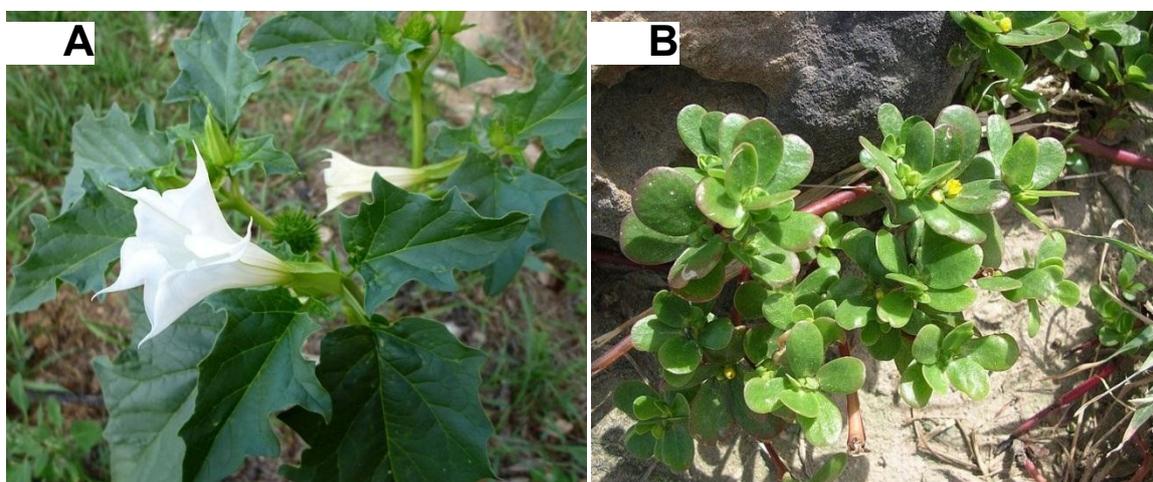


Figura 17.5. A. *Datura ferox*. B. *Portulaca oleracea*. Fuente: Blanc (2012) y Starr & Starr (2005) respectivamente

Bibliografía

- Carrasco N., Zamora M, Melin A, Bolleta A., Marinissen J., Gigón R., Forján H., Lagrange S., Campos P. Manso L. & Cichino M. (2011). *Manual de Sorgo*. Proyecto Regional Desarrollo de una Agricultura Sustentable en los Territorios del CERBAS. N. Carrasco N., M. Zamora & A. Melin (Eds.) INTA. 102 pp.
- Chessa A. (2004). *Sembrando el sorgo granifero de primera*. Cuadernillo de sorgo nro. 94: 2-4. Evans C. (2004). *Lambsquarters Chenopodium album*. Illinois Wildlife Action Plan, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1334138> Último acceso: Junio de 2015.
- Gigón R., Vigna M., López R. (2012). *Malezas*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA pp 41-44

- Rodríguez N. (2003). *Control de malezas en sorgo granífero*. En: Manejo de plagas y tecnología de cultivos en sistemas mixtos de producción. Boletín Técnico. 91. EEA INTA Anguil. Ediciones INTA. 19-28 pp.
- Rodríguez N., Garay J., Colazo JC. (2012). *Control de malezas y uso de herbicidas en sorgo*. Ed Juan Cruz Colazo, Jorge Alberto Garay y Jorge Hugo Veneciano. EEA INTA Anguil. pp 41-47.
- Starr F. & Starr K. (2008). *Cynodon dactylon*. Disponible en:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_080209-2655_Cynodon_dactylon.jpg.
Último acceso: Junio de 2015.

CAPÍTULO 18

Sorgo: Zonas de cultivo

Silvina Golik y María Constanza Fleitas

Argentina tiene una amplia región ecológica apta para cultivar sorgo granífero ubicada en las provincias del centro, este y norte. Esta región abarca áreas óptimas para el maíz y para el trigo. Por las características de rusticidad, adaptación y seguridad de cosecha, el sorgo se ha difundido en regiones marginales para el maíz, como el oeste de Buenos Aires, La Pampa y hacia el norte de la zona núcleo maicera. En algunas regiones como el norte de Santa Fé, Chaco y Formosa compite ventajosamente con otros cultivos.

En su difusión han incidido otros factores como la actividad ganadera, ya que puede actuar como complemento en la cadena forrajera, cosechándose o no, y dejando, en todo caso, un rastrojo aprovechable. En áreas predominantemente agrícolas, el sorgo tiene un buen comportamiento y puede alcanzar excelentes rendimientos.

Si bien actualmente diversos autores consideran la región sorguera dividida en tres amplias regiones: Región Norte, Región Centro y Región Sur (INTA, 2007; Advanta, 2014; Cargill, 2014), en este capítulo la consideremos dividida en siete subregiones (Fig. 18.1)

La región ecológica se divide en siete subregiones (Fig. 18.1):

- Central
- Semiárida pampeana
- Pampeana húmeda
- Mesopotámica
- Chaqueña
- Noreste
- Patagónica

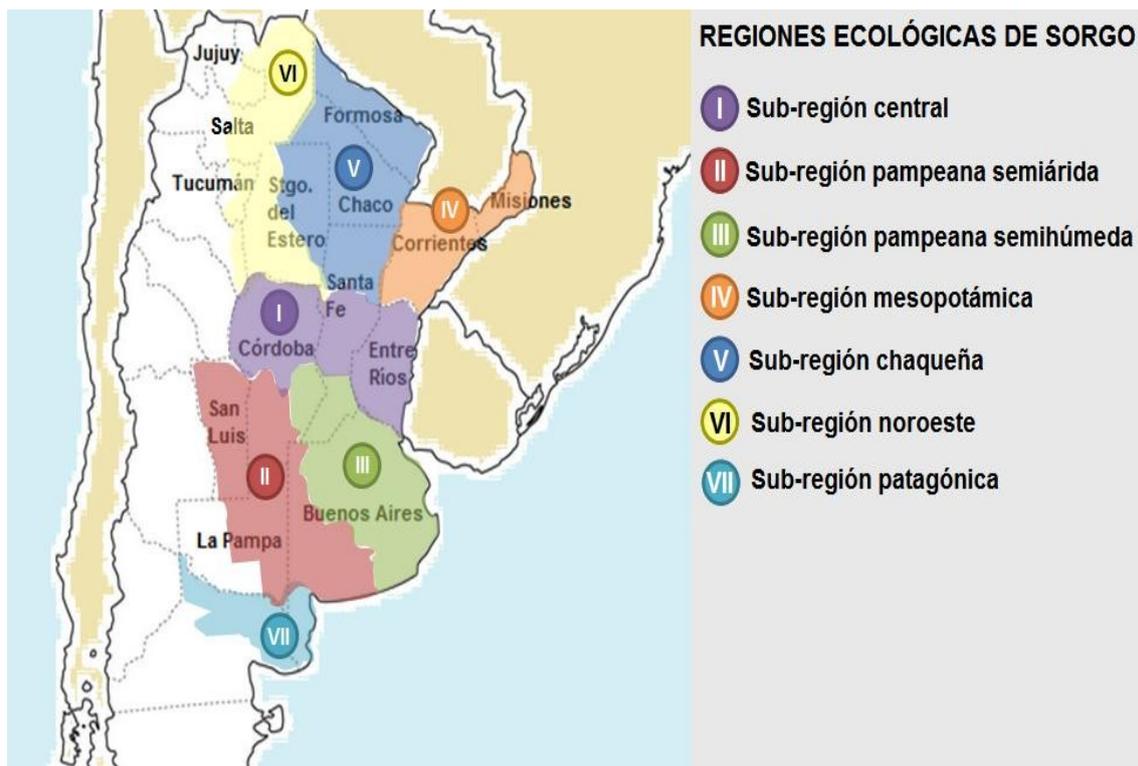


Figura 18.1. Subregiones de sorgo.

Subregión central

Abarca el área correspondiente a la parte central de las provincias de Santa Fe y Córdoba. Esta zona se caracteriza por ser agrícola –ganadera y ofrecer gran seguridad de cosecha al sorgo granífero y en ella se pueden caracterizar dos sectores:

Sector este: Corresponde al centro santafesino, con la mayor concentración de cultivo en los departamentos de San Cristóbal, Castellanos, San Martín y Las Colonias. Está ubicado, casi en su totalidad, en la zona templada del país donde los inviernos son moderadamente frescos, con periodo de heladas muy definido. La fecha media de la última helada es del 20 de agosto a principios de septiembre y la primera helada del 20 de mayo. La temperatura media de octubre es de 19°C y la de enero de 26°C.

Es una zona bien dotada de humedad con distribución bastante irregular (73% primavera- estival y 27% otoño-invernal). En junio, julio y agosto llueven 25 mm por mes; septiembre 35-40 mm; octubre 80mm; noviembre 100 mm; diciembre 110 mm; enero 125 mm; febrero 90 mm, marzo 150 mm y abril 80mm. Los suelos predominantes son de buena aptitud agrícola. Hay áreas bien drenadas que corresponden a Argiudoles Típicos, Ácuicos y Hapludoles Típicos. Los Argiudoles Típicos genéticamente tienen un buen horizonte A (25 – 30 cm) y buen contenido de materia orgánica. En profundidad tiene un horizonte argílico que limita el drenaje. Los Hapludoles, que no tienen problema de drenaje, solo se encuentran en el límite sur del sector. Otras zonas con problemas de drenaje, que se dan principalmente en el departamento de San Cristóbal (al norte

del sector) con predominio de Argiudoles Ácuicos, Natraboies y Natracuolfes, son destinadas a la ganadería. El manejo del cultivo debería tender a aumentar en drenaje con labores de aireación; evitar la labranza excesiva que aumente la compactación y el piso de arado; aumentar el contenido de materia orgánica y profundidad del horizonte A través de una adecuada incorporación de residuos y rotaciones, anticipar las labores y realizar barbecho.

En este sector el tambo es una de las principales actividades. Por ello el sorgo frecuentemente se usa como sucesor de distintas pasturas. Las mismas deben ser roturadas oportunamente, antes de ser degradadas e invadidas por malezas, e incluso proveer la instalación de un verdeo. Cuando el rastrojo es de trigo, que no es utilizado para pastoreo, normalmente se rotura temprano, en otoño, para permitir su descomposición y el suministro de nitratos.

El mayor inconveniente se plantea cuando es el propio sorgo el que actúa como cultivo antecesor. En este caso, la longitud del barbecho tiene más importancia. En diversos ensayos se ha encontrado que barbechos medianos y largos definen mejores niveles de nitratos a la siembra que los barbechos cortos. Estos últimos pueden ser efectivos cuando las condiciones climáticas son favorables y permiten realizar un laboreo adecuado.

Las siembras van de octubre a diciembre. Para la elección de la fecha más adecuada se deben considerar el ciclo del cultivar; el período de máxima deficiencia en agua (los primeros 20 días de enero); la presencia de enfermedades y plagas y los posibles problemas de madurez. Los ensayos demuestran que la mejor época está entre fines de octubre y fines de noviembre.

Los rendimientos promedios oscilan entre 6000 kg.ha⁻¹ en los mejores suelos hasta 3500 kg.ha⁻¹ en los suelos más pobres. En el primer caso, hay mayor proporción de suelos clase I, II, III y uso de fertilizantes, a pesar de que muchas veces se aplican en dosis subóptimas. Para el segundo caso hay una elevada proporción de suelos clase IV o superior (Turchi, 2012).

Sector oeste: Corresponde al centro de Córdoba; la mayor concentración del cultivo se encuentra en los departamentos de San Justo, el más parecido al sector santafesino Río Segundo y Tercero. Existen diferencias climáticas con el sector este, ya que se ubica dentro de las zonas con deficiencias hídricas.

Hay una gran irregularidad anual y mensual en las precipitaciones, con una media aproximada a los 700 mm. El 85% de las lluvias es primavero-estival (octubre a marzo); octubre 75 mm; noviembre 100; diciembre 100 mm; enero 110 mm; febrero 85 mm; marzo 95 mm; abril 55 mm; mayo a septiembre 25 a 35 mm. Las temperaturas son menores que en Santa Fe, recién en noviembre son adecuadas para la siembra. La fecha media de última helada es el 20 de septiembre y la de primera, el 20 de mayo. Los suelos también presentan diferencias con el este de la subregión. Predominan los Haplustoles que se desarrollan con clima templado subhúmedo o semiárido. Son suelos profundos desarrollados sobre loes cordobeses sin capas impermeables, salvo las provocadas por el manejo, como el piso de

arado, planchado a costras superficiales, frecuentes en suelos agotados. La textura es franco-arenosa fina; con drenaje moderado a rápido. Los contenidos de materia orgánica son muy variables: 2,5% en la zona de influencia de Manfredi y Río Segundo a 0,6% en sectores de Río Tercero. Estos suelos son menos productivos que los Argiudoles debido fundamentalmente a las menores precipitaciones. Pueden presentar algunos problemas en erosión eólica o hídrica en las áreas onduladas.

En este sector el cultivo se realiza exclusivamente para la cosecha de grano. Las rotaciones frecuentes son con maní, soja, girasol, verdeos invernales. El cultivo de maní implica un excesivo laboreo, reducción de la materia orgánica y suelo desprovisto de rastrojos, sin embargo suele funcionar bien como antecesor del sorgo y en rotaciones bienales o trienales, aumentan los rendimientos en ambos cultivos. La soja si bien deja baja cantidad de residuos, también suele comportarse bien como antecesor del sorgo, al igual que el girasol y los verdeos invernales como el centeno. La fecha de siembra se atrasa 15 días respecto a la zona este y el período adverso va aproximadamente del 20 de enero al 10 de febrero.

Subregión semiárida pampeana

Abarca el sur de Córdoba (Gral. Roca y Río Cuarto), este de San Luis, este de La Pampa y oeste de Bs As. Es la zona de mayor representatividad del sorgo; se ha transformado en la región sorguera típica debido a que es el cultivo con mayor seguridad de cosecha. Es una zona donde el principal problema es el déficit hídrico, por ello deben aplicarse técnicas especiales de manejo de suelos y conservación de agua edáfica. No es conveniente que el sorgo inicie la rotación en un lote proveniente de pradera porque los insectos de suelo pueden provocar pérdidas importantes en la cantidad de plántulas; es preferible intercalar un verdeo invernal (Advanta, 2014). Los materiales de ciclo largo resultan difíciles de ubicar adecuadamente por lo que son aconsejables cultivares precoces, que presentan mayores alternativas de siembra y cosechas más oportunas en relación a la disponibilidad futura del lote. Al ser una zona tan extensa en longitud podemos considerar *dos zonas*:

Una **zona norte**, que abarcaría el sur de Córdoba, este de San Luis y noroeste de Bs. As. En esta subzona las fechas promedio de primera y última heladas son el 20 de mayo y el 22 de septiembre, respectivamente. Por lo tanto se podría estar sembrando a principios de octubre, fecha con la que se alcanzan buenos rendimientos. Sin embargo, a menudo se ve retrasada porque se prioriza el cultivo de maíz (Campos, 2012). Se recomienda evitar la siembra en la primera quincena de noviembre, ya que la floración se produciría en enero, momento en el que suelen presentarse altas temperaturas y déficit hídrico (del 5 al 25 de enero). Se pueden hacer siembras tardías a fin de noviembre y principios de diciembre. El distanciamiento entre hileras más frecuente es a 52 cm, con densidades de 200 mil plantas.ha⁻¹. El control de malezas consiste en la aplicación, durante el barbecho, de atrazina en mezclas con glifosato y herbicidas hormonales. En caso de que la semilla este curada con antídoto, se puede adicionar de s- metolacloro (Campos, 2012).

En cuanto a la fertilización nitrogenada se busca llegar a 100 - 120 kg de $N.ha^{-1}$ a la siembra, complementados con una fertilización fosforada de 60 a 80 $kg.ha^{-1}$ de superfosfato triple o fosfato diamónico. En lotes con exceso de sodio, se aplican 100 a 150 $kg.ha^{-1}$ de sulfato de calcio en la línea. No obstante, en muchos lotes se manejan con dosis subóptimas o dosis nulas de fertilizantes (Campos, 2012).

Otra **zona sur** con fechas promedios de primera y última helada el 20 de abril y 20 de octubre, respectivamente y periodo de déficit hídrico del 5 al 31 de enero.

Esta zona también puede dividirse en dos sectores: **uno norte** donde la fecha de siembra se ubica entre mediados de noviembre y principios de diciembre. Esta fecha permite acumular agua y facilita el control de malezas con glifosato (Sueldo Heritir & Castaño, 2012). De este modo el período crítico del cultivo se ubica en febrero, posterior al período crítico. La densidad de siembra va de 140 mil a 200 mil plantas. ha^{-1} dependiendo del ambiente, 52 cm entre hileras, aunque en ambientes más restrictivos se probó acercar las hileras a 35 o 42 cm, con buenos resultados. Se siembra con placa o chorrillo. Respecto a la fertilización se emplean arrancadores a razón de 50 $kg.ha^{-1}$ y luego se fertiliza con urea, con dosis de 70 a 140 $kg.ha^{-1}$, según el año. Para el control de malezas se utiliza atrazina y dual gold en preemergencia, y pendimetalin en postemergencia, en situaciones de alta infección con roseta. Las plagas con mayor incidencia son los pulgones, principalmente en estado vegetativo y la mosquita del sorgo, en antesis. Dentro de esta zona existe una región del oeste de Buenos Aires, que corresponde los partidos de Trenque Lauquen, Gral Villegas, Rivadavia, con características diferenciales en cuanto al periodo de deficiencia en humedad y temperaturas, que le confieren mejores condiciones. Y un **sector sur**, con dos factores importantes que limitan el rendimiento del cultivo: la provisión de agua que depende de las precipitaciones medias anuales, que descienden de NE a SO, con gran variabilidad interanual, combinada en muchos casos con una reducida capacidad de almacenamiento del agua por la presencia de tosca y un periodo libre de heladas relativamente breve, comprendido entre los meses de noviembre y marzo. Por lo tanto, un factor clave, es la elección de la fecha de siembra. Las bajas temperaturas durante la implantación y la emergencia pueden ejercer un efecto negativo sobre la homogeneidad del cultivo en sus primeras etapas por lo que no se aconseja sembrarlo antes del 30 de octubre. Pero, a su vez cuando se atrasa la siembra hacia mediados –fines de diciembre, se produce una caída de la productividad y de los rendimientos obtenidos. Como consecuencia, durante las últimas campañas, el 34% se realizó en la segunda quincena de octubre (concentradas en el norte de la región), el 35% en la primera quincena de noviembre, mientras que el 31% se sembró durante la segunda quincena de noviembre (Giorno, 2012). El tipo de materiales utilizados en la zona es variado: materiales forrajeros azucarados para pastoreo directo, priorizando la siembra temprana; materiales sileros azucarados y de doble propósito de ciclo intermedio-largo; y sorgos graníferos destinados a la producción de grano seco o húmedo. La distancia entre hileras para estos últimos es de 42 o 52 cm, utilizando preferentemente ciclos cortos e intermedios-cortos.

Subregión pampeana húmeda

Coincide con la región núcleo maicera e incluye el centro – norte de Bs As. En esta zona no se presentan grandes inconveniente para la implantación y manejo del cultivo, que se siembra con densidades altas. Sin embargo, el sorgo generalmente se cultiva cuando ya no se tienen posibilidades de hacer maíz u otro cultivo más rentable. Esto provoca un retraso extra en la fecha de siembra que determina, sobre todo en los cultivares de ciclo largo, que el período de madurez y cosecha coincidan con alta precipitación y humedad, condiciones que perjudican la calidad comercial del grano. O bien se lo destina a lotes deteriorados por una prolongada historia agrícola y por lo tanto de bajo potencial para otros cultivos como el maíz, o a suelos que exigen la reconstrucción de su balance de carbono (Soto, 2012). En estos casos, el sorgo se siembra sobre soja o trigo/soja. Se puede sembrar a partir del 10 de octubre, con una temperatura del suelo no menor de 16°C y un distanciamiento entre hileras de 35 a 42 cm, con densidades de 150 mil a 200 mil plantas ha⁻¹ a cosecha según el ambiente. Como arrancador se usa fosfato diamónico o monoamónico en una dosis de 60 a 100 kg.ha⁻¹. Para la fertilización nitrogenada la dosis objetivo (N inicial del suelo + fertilizante) varía entre 100 y 140 kg.ha⁻¹. El control de malezas, antes del cultivo se efectúa con aplicaciones de atrazina al 50 % en mezclas con glifosato y herbicidas hormonales. Si es necesario, en preemergencia, se pueden repetir los mismos productos y en caso de que la semilla este curada con antídoto, se puede adicionar metolacoloro (Soto, 2012)

Subregión mesopotámica

Comprende las provincias de Corrientes y Entre Ríos

En Entre Ríos, los factores ecológicos limitantes son la humedad excesiva y precipitaciones de otoño, que afectan la cosecha impidiendo la entrada de máquinas y disminuyendo la calidad comercial del grano, sumado a ello el tipo de suelo: Vertisoles con distinto porcentaje de arcilla en superficie y en horizontes subsuperficiales. Esto se puede atenuar con siembras tempranas. La mayor estabilidad de rindes, sumada al precio del sorgo que, en algunas situaciones, superó al del maíz, determinaron el crecimiento de la superficie sembrada con este cultivo. Asimismo, en las últimas campañas, también aumentó la superficie sembrada con sorgo de segunda sobre rastrojo de un cultivo de invierno (García Frugoni, 2012). Los híbridos más utilizados en la zona son de ciclo largo con alto contenido de taninos. Con 14°C y adecuada humedad, comienza la siembra de los mejores lotes y se dejan los más restrictivos para siembras con mayor temperatura en el suelo (18°C), de modo de lograr una emergencia uniforme. Considerando esto, las fechas de siembra van desde el 25 de septiembre al norte y del 1 al 20 de octubre al sur. Pasada esa fecha se debe esperar hasta el 20 de noviembre para evitar que el periodo crítico coincida con la época de mayor demanda ambiental. Se busca una densidad a cosecha de mas de 200 mil plantas.ha⁻¹ para el sorgo de primera y de más de 150 mil plantas.ha⁻¹ para el sorgo de segunda, sembrándose a una distancia entre hileras de 35 o 52 cm. El menor distanciamiento provoca una cobertura más rápida del suelo que favorece el control de malezas (INTA, 2007). Para el control de malezas, normalmente se aplican atrazina,

hormonales y glifosato en el barbecho y luego se repiten estos productos en preemergencia, pudiéndose agregar metolacloro si la semilla posee antídoto (Concep III). Si la semilla no tiene antídoto, se suele realizar en V3-V6 una nueva aplicación de atrazina y dicamba o picloram. Respecto a la fertilización con N, se busca alcanzar los 110 a 120 kg.ha⁻¹ entre el N disponible en el suelo a la siembra y lo que se agrega con los fertilizantes. Para el sorgo de segunda el objetivo es de 90 a 100 kg.ha⁻¹ de N.

Subregión chaqueña

Abarca el norte de Santa Fe, Chaco, Formosa y oeste de Corrientes.

Es la subregión con época de siembra más amplia, que en la parte norte va desde mediados de agosto hasta la primera quincena de febrero. Las condiciones del otoño permiten cosechar sin inconvenientes, aún sembrando tarde. En general se usan ciclos intermedios a largos, preferentemente con características de “antipájaros”.

Al no haber recibido el sorgo el mismo tratamiento que el maíz no ha podido demostrar todo su potencial. Queda mucho por hacer en cuanto a preparación del lote, calidad de siembra, fertilización y uso de herbicidas. En los planteos que vienen de cultivos de secano o verdeos, se utiliza la siembra directa, en tanto que en los lotes que vienen de arroz, se borra la taipa y se realiza labranza mínima con nivelador landplane o rastra de dientes (Cerutti & Socas, 2012). Frecuentemente se realizan siembras tardías, en diciembre, ya que si bien tienen un menor potencial de rendimiento, es más segura puesto que permite que el periodo crítico del cultivo escape a las severas condiciones de fines de diciembre y enero. Se buscan densidades de 200 mil plantas.ha⁻¹ a cosecha, en siembras a 35 cm (con sembradoras de arroz a chorrillo) o 52 cm.

En cuanto a los cultivares, a diferencia del maíz, en sorgo aún no se cuenta con eventos transgénicos que permitan un mejor control de plagas y malezas. Como verdeo de verano se siembran sorgos forrajeros fotosensitivos, que aportan mucho volumen de tallo y hojas. La utilización del sorgo como grano seco es relativamente más acotada (Cerutti & Socas, 2012). Los niveles de fertilización utilizados no son suficientes, más aún en Corrientes, donde los suelos son más pobres que los de Chaco.

En el control de malezas, la situación más difícil se produce en lotes que provienen de arroz o agricultura, con mayor presencia de capines (*Echinochloa* sp.), *Brachiaria* sp. y *Digitaria* sp. Estas gramíneas anuales son difíciles de combatir durante el ciclo del cultivo y pueden llegar a dominarlo, de ahí la recomendación de aplicar glifosato antes de la siembra y si es posible, curar la semilla con antídoto y aplicar atrazina más metolacloro en preemergencia. Estos herbicidas residuales deben asegurar una implantación libre de malezas.

La ubicación del sorgo en la rotación es variable. Muchas veces se lo siembra como cultivo de segunda detrás de un cultivo invernal, como raigrás anual o trigo. También es un buen antecesor para la soja o el girasol, generando una cama de siembra más húmeda y protegida.

Subregión noroeste

Si bien las condiciones ecológicas no le son desfavorables, el cultivo tiene muy poca representatividad.

Subregión patagónica

No tiene representatividad.

Bibliografía

Advanta. (2014). Disponible en:

<http://www.yoamoelsorgo.com.ar/pdf/MANEJOAGRONOMICO.pdf>. Último acceso: Junio 2015.

Campos M. (2012). *Región Centro*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp. Cargill. (2014). *Manual Técnico del Sorgo en La Argentina*. Disponible en:

<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualsorgo/manualsorgocargill02.htm>. Último acceso: Junio 2015.

Cerutti G. & Socas A. (2012). *Región Litoral Norte*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.

García Frugoni F. (2012). *Región Litoral Sur*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.

Giorno A. (2012). *Región Sudoeste*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.

INTA. (2007). *Consideraciones para el cultivo de sorgo granífero*. Sitio Argentino de Producción Animal. E.E.A Anguil. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar Último acceso: Mayo 2015. Soto E. (2012) *Región Norte de Buenos Aires*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.

Sueldo Heritir S. & Castaño S. (2012). *Región Oeste Arenoso*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.

Turchi D. (2012). *Región Santa Fé Centro*. Producción de Sorgo Granífero. Revista CREA. 69 pp.

CAPÍTULO 19

Sorgo: Usos y comercialización

*María Rosa Simón, Silvina Golik
y Guillermo Sebastián Gerard*

Introducción

La producción de sorgo se ha incrementado en los últimos años. Argentina es el segundo exportador mundial, con un promedio de alrededor de 4 millones de t en los últimos años. En la campaña 2013-2014, la producción nacional alcanzó las 3,47 millones de t, con exportaciones en 2014 de 1,2 millones de t (MAGyP, 2015). La producción mundial, en tanto se encuentra entre 54 y 65 millones de t (USDA, 2013). Los posibles usos del sorgo son múltiples y dependen en gran medida del genotipo utilizado. En muchos países subdesarrollados, el principal destino del cultivo es como alimento para consumo humano. En Argentina, la producción se destina en parte al mercado interno y el resto a la exportación. Dentro del mercado interno puede utilizarse para consumo directo por animales, industria y sorgos para producción de alcohol. El consumo directo en animales puede ser de grano, pastoreo, silo y heno. En la industria puede utilizarse para alimentos balanceados e industria extractiva (molienda seca, húmeda y bioenergía). A su vez, de los sorgos azucarados alcohólicos pueden obtenerse etanol y otros alcoholes (Bragachini, 2012). Los que utilizan el sorgo para molienda son principalmente firmas dedicadas a la producción ganadera y lechera y a la exportación. En este último caso, Argentina se encuentra en segundo lugar luego de Estados Unidos, con una representación de 20% en el mercado. Sin embargo Estados Unidos y otros exportadores tienen la ventaja de producir sorgos blancos o rojizos, con bajo contenido de taninos condensados, que son los que prefieren la mayoría de los exportadores (Dragún *et al.*, 2010).

En nuestro país existe un renovado interés por esta especie traducido en un incremento de la superficie sembrada tanto de los tipos granífero como forrajero. Ello es debido a su mayor utilización para recuperar suelos degradados, donde responde con mayor productividad en relación al maíz. Ante la necesidad de una producción sustentable, su mayor adaptabilidad y comportamiento bajo condiciones climáticas adversas frente a otros cereales constituye menor riesgo para los productores. La mayor adopción de la técnica de silo de planta entera y de grano como suplemento para alimentación animal, y la existencia de materiales comerciales de alta calidad nutricional y productividad, hacen más eficiente su

utilización, conversión y su empleo en la agroindustria. A esto se suma el crecimiento de la demanda interna y buenas posibilidades del mercado externo, además del desplazamiento del cultivo de la zona núcleo sorguera de la pampa húmeda hacia zonas más marginales para la agricultura (Barberis & Sánchez, 2013).

Alimentación humana

El sorgo es una de las fuentes principales de alimentos del hombre en todo el mundo, principalmente en países de África y Asia. En África, el consumo humano representa casi tres cuartas partes de la utilización total y supone una gran porción de la ingesta calórica total de muchos países. China e India contribuyen a un 90 % del consumo total de las regiones en alimentación.

Dicho cultivo presenta numerosos compuestos nutritivos entre los que se destacan: fibras insolubles, importantes para la alimentación de diabéticos por su lento proceso de liberación de glucosa y el buen funcionamiento del sistema digestivo, contiene además alto contenido de zinc y hierro, el zinc es importante para los niños en crecimiento y el hierro para reducir la anemia ferropénica (anemia por falta de hierro). El sorgo además es rico en antioxidantes, los cuales pueden evitar el envejecimiento celular y ayudan a prevenir enfermedades como el cáncer. Por último, una ventaja adicional de este cereal es que no contienen gluten, una particularidad que lo hace apto para las dietas de personas con celiaquía. Desde el punto de vista proteico, al comparar el cultivo de sorgo con el estándar de proteínas de la FAO, se evidencia que presenta deficiencias de los aminoácidos lisina, metionina y triptófano. No obstante, en la actualidad existen genotipos con mayores contenidos de estos aminoácidos y esta característica puede ser transferida por mejoramiento genético a cultivares agrónomicamente deseables. Algunos de los usos alimenticios del sorgo incluyen: harina, papillas, guarniciones, bebidas malteadas y destiladas y alimentos especiales como grano reventado.

Sorgos de calidad para usos en alimentación y agroindustria

Son varios los factores que afectan el valor nutritivo del sorgo. Entre ellos está el tipo y textura del endosperma, el almidón y la proteína digestible, presencia de taninos condensados, peso hectolítrico, la interacción genotipo-ambiente, y los métodos de procesamiento previos a su consumo, que permitan exponer la mayor superficie posible del almidón y de las proteínas a la acción de las enzimas durante el proceso digestivo. Los sorgos de pericarpio blanco, glumas de color castaño, planta castaño y sin testa pigmentada, producen alimentos de color claro y sabor dulce. A estas características, necesarias para la utilización alimenticia, pueden sumarse la textura del endosperma entre intermedia a córnea

y la presencia de endosperma Amarillo (vitamina A). Estos sorgos y los sorgos de pericarpio rojo sin taninos condensados (sin testa), son los que tienen el mejor potencial para su empleo como alimento humano, y animal (monogástricos y ruminantes) y otros usos agroindustriales (Barberis & Sánchez, 2013).

Alimentación animal

En la mayoría de los países desarrollados y en algunos países de Sudamérica como Argentina, el uso principal del sorgo radica en la alimentación animal principalmente de bovinos, así como también de porcinos y aves. Particularmente en las aves se utiliza como ingrediente del balanceado destinado a su alimentación. A diferencia del maíz, el sorgo carece de pigmentos carotenoides (provitamina A), los que en el caso de las aves intervienen en la coloración de la piel y yema de los huevos. En alimentación de bovinos el cultivo de sorgo resulta adecuado para cubrir los requerimientos energéticos de animales productores de carne y leche. Puede ser utilizado para pastoreo, en forma de silo ya sea de planta entera o grano húmedo y también como grano para la elaboración de raciones o balanceado (Pelta, 2014). En este último caso y debido a la dureza del pericarpio, es recomendable el procesado (craqueo, laminados, molienda) de los granos.

Adicionalmente, en la utilización del grano de sorgo como alimento animal, se debe tener en cuenta la presencia de taninos condensados ya que los mismos, tienen efectos detrimentales sobre el valor nutricional. Dichos taninos, ligan y precipitan proteínas, reduciendo de este modo la proteína total, su digestibilidad e inhibiendo la actividad de varios sistemas enzimáticos. Es por ello que, en estos casos, se requiere que el tanino sea previamente desactivado (Chessa, 2001).

Otros usos

Existe un mercado de productos especiales de sorgo en relación a su versatilidad genética como es el uso para la producción de energía a partir de sorgos azucarados, la utilización de harinas de sorgo provenientes de la molienda seca en la industria de farináceos, la producción de sorgo inflado ("pop sorghum"-pororó de sorgo)- que aunque incipiente presenta interesantes perspectivas-, la industrialización del sorgo para escobas, aglomerados, papel, etc. (Barberis & Sánchez, 2013). El sorgo también se puede utilizar en la construcción de paneles de yeso, vallas, materiales de embalaje biodegradables, producción de bebidas, etc. (Mestre, 2007). En la industria de extracción se lo emplea, fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa, además en la fermentación aceto-butílica donde se producen tres solventes importantes: alcohol, acetona y butanol. Un uso más reciente de sorgo es en la producción de etanol. Los subproductos de la

producción de etanol, como el sorgo-DDGS (granos secos de destilería con solubles), también están encontrando un lugar en el mercado.

En la utilización industrial del sorgo se realizan dos tipos de molienda: molienda seca y molienda húmeda.

Molienda seca

Se utiliza para la obtención de sémolas y harinas, que pueden ser empleadas en alimentación humana en aquellos países en que el sorgo tiene este destino. Las harinas de baja proteína se utilizan en la industria de los adhesivos, en la construcción y en los barros de perforación de pozos de petróleo. El residuo se utiliza para alimentos balanceados.

El objetivo de la trituración seca del grano de sorgo es la separación del endosperma, germen y salvado, recuperando la máxima cantidad de endosperma en forma de sémolas. Para ello el proceso de molienda seca, comienza con la limpieza del grano, para separar impurezas indeseables y granos rotos, valiéndose de cribas vibratorias, aspiradores y separadores en seco por peso específico. Posteriormente el grano limpio se acondiciona mediante adición de agua para ablandar el endosperma. Una vez acondicionado el grano se realiza la molienda propiamente dicha, la que requiere de dos etapas: un perlado abrasivo para separar el salvado, seguido por la pulverización de los granos perlados

- El perlado o descortización: Se puede realizar por medio un descascarador de arroz o una máquina descortezadora vertical dotada de discos de esmeril. El objetivo es erosionar la parte exterior del grano con el mínimo efecto destructor del resto. Se recomienda una descortización de 20'' para la buena aceptación por el consumidor. El salvado raspado y el germen se eliminan por cernido y aspiración. Es conveniente eliminar el germen tan completamente como sea posible. Esto se puede realizar por los procedimientos descritos en la trituración seca del maíz, o con una máquina especial que consiste en una escobilla circular de alambre, que gira dentro de un cilindro perforado.
- La pulverización: de los granos decorticados es un mero proceso de reducción al tamaño de partícula deseado y se puede realizar con el equipo convencional de rodillos para harina de trigo, o con molino de impacto. Sin embargo las harinas finas necesarias para el pan y galletas, se consiguen mejor utilizando molinos de desgaste o de martillos, dotados de cedazos finos.

Como resultado de la molienda seca del grano se obtienen productos tales como: grano de sorgo perlado, harina de sorgo cruda, harina de sorgo refinada, sémola cervecera, germen y grano molido fino.

Molienda húmeda

Los métodos utilizados se asemejan en gran parte a los descritos para el maíz, pero el procedimiento es más difícil con el sorgo, por la gran proporción de endosperma córneo y por la densa capa periférica de endosperma, rico en proteínas. Los cultivares con las capas periféricas de color oscuro, no son satisfactorios para la molturación húmeda como consecuencia de que el colorante se corre y tiñe el almidón. Las distintas etapas en la molienda húmeda del sorgo son:

- a) Limpieza: Similar a la molturación seca
- b) Maceración: El sorgo limpio se macera en agua (1,6-2 litros/kg) durante 40-50 h en contra corriente. Se le adiciona 0,1 -0,16 % de dióxido de azufre, que es absorbido por el grano y debilita la matriz proteica en la que están incluidos los gránulos del almidón.
- c) Eliminación del germen: El grano macerado en forma de suspensión se tritura en un molino. El molino tiene platos con protuberancias, uno estático y otro que gira a 1700 rpm. Esta acción desprende el germen y libera la mitad del almidón del endosperma. El germen que contiene 40-45% de aceite, sale flotando a la superficie de la suspensión y se separa del endosperma y pericarpio que son más pesados. El endosperma y pericarpio libres de germen, se criban por una tela de nylon con abertura apropiada a través de la cual pasa el almidón libre ya de proteína. El residuo, principalmente endosperma córneo, se vuelve a pasar por un “entoleter”, molino de impacto u otro molino apropiado, para liberar más almidón y se vuelve a cribar.
- d) Escurrido: Los residuos del filtrado se escurren hasta un 60% de humedad con prensas de tornillos sin fin. El producto recibe el nombre de “fibra”. La fibra mezclada con agua de maceración concentrada (conteniendo las sustancias solubles lavadas durante la maceración) y la torta de germen agotada, (luego de la extracción de aceite) se desecan en un secadero continuo y se utilizan en la preparación de balanceados.
- e) Separación de almidón/proteína: Los gránulos de almidón sin fibra ni partículas de germen se separan en una centrífuga continua por un proceso de sedimentación diferencial; los gránulos de almidón, con densidad de $1,5 \text{ g/cm}^3$ se sedimentan en una suspensión acuosa a velocidad mayor que las partículas de proteínas con densidad $1,1 \text{ g/cm}^3$. El almidón así separado se deseca y sufre procesos de industrialización similares usados para el maíz. Mientras que la proteína -“milo gluten”- se concentra, se filtra y se seca. Su riqueza proteica es de 65-70% y se utiliza en balanceadores. En resumen, los principales productos y subproductos obtenidos en la molturación húmeda son: almidón; germen; fibra; gluten.

Industria de la fermentación

En algunos países asiáticos y africanos, se preparan con sorgo graníferos bebidas alcohólicas como vinos y cervezas. El grano se utiliza para obtener malta o como ingrediente en la fabricación de dos tipos de cerveza, la cerveza clara y la cerveza opaca, una cerveza tradicional africana de bajo contenido de alcohol que contiene finas partículas en suspensión. Aunque faltan estadísticas para muchos países sobre la cantidad de sorgo utilizado para fabricar cerveza, los datos de que se dispone indican que la mayor parte se utiliza para producir cerveza opaca. Tradicionalmente, el sorgo es un ingrediente básico en la fabricación de cerveza, cuya creciente demanda ha originado en algunos países una industria comercial, que produce cerveza opaca y cerveza en polvo para la venta al por menor. Se produce también cerveza clara, en mucha menor cantidad, principalmente en Nigeria y Ruanda. La prohibición de importar cebada que se decretó en Nigeria a finales de los años ochenta y comienzo de los noventa impulsó la aparición de un mercado de bebidas de malta a base de sorgo. En Nigeria se utilizan también pequeñas cantidades de sorgo para producir edulcorantes (FAO, 1997). Además industrialmente se lo usa en otros procesos fermentativos muy variables pudiendo citar su utilización exitosa en la producción de ácido cítrico, ácido láctico, rivo flavina, antibióticos, etc.

Comercialización de sorgo

En lo referente a la comercialización del sorgo, la misma se rige por la norma XVIII, cuya última modificación se realizó en el año 2011 a través de la resolución 554/2011. Dicha norma establece un estándar, con rubros de calidad y condición.

NORMA XVIII. SORGO GRANÍFERO (Resolución 554/2011).

1.- Se entiende por sorgo granífero, a los efectos de la presente reglamentación, a aquellos sorgos que estén incluidos dentro de la especie *Sorghum bicolor* (L) Moench, sub-especie bicolor.

2.- CLASIFICACIÓN: Se podrá clasificar: 2.1.- Por presencia de taninos:

2.1.1.- Sin especificación de taninos: Lote o partida en los que no está especificado el porcentaje de granos con presencia de taninos condensados.

2.1.2.- Bajo tanino o sin taninos condensados: Lote o partida que contenga no más de CINCO POR CIENTO (5%) de granos con taninos condensados. Entiéndase por granos con taninos condensados, aquellos que son identificados como tales en la "prueba de blanqueo con hipoclorito de sodio (lavandina) con base hidróxido de sodio" (Ver punto 11, Metodologías Analíticas).

2.2.- Por Color:

2.2.1.- Sin especificación de color: Lote o partida en los que no está especificado el color del grano, admitiéndose mezcla de colores (blanco, colorado, etc.).

2.2.2.- Colorado: Lote o partida de sorgos colorados, que no contenga más del DOS POR CIENTO (2%) de granos de sorgo blanco. Entiéndase por sorgos colorados aquellos con pericarpio pigmentado (Fig. 28.1.B).

2.2.3.- Blanco: Lote o partida de sorgos blancos, que no contenga más del DOS POR CIENTO (2%) de granos de sorgo de otros colores. Entiéndase por sorgos blancos aquellos con pericarpio de color blanco o translúcido (opaco, perlado, tiza), incluyendo los que contengan manchas que no cubran más del VEINTICINCO POR CIENTO (25%) del grano (Fig. 28.1.A).



Figura 281.1. **A.** Granos de sorgo tipo blanco. **B.** Granos de sorgo de tipo colorado. Fuente: Southwick (2012) y Scher (2008) respectivamente.

3.- Se establecen los siguientes grados y respectivas especificaciones:

TOLERANCIAS MÁXIMAS PARA CADA GRADO:

GRADO	GRANOS DAÑADOS %	MATERIAS EXTRAÑAS Y SORGOS NO GRANÍFEROS %	GRANOS QUEBRADOS %
1	2	2	3
2	4	3	5
3	6	4	7

4.- FUERA DE ESTÁNDAR:

La mercadería que exceda las tolerancias del Grado 3 o que exceda las siguientes especificaciones, será considerada fuera de estándar:

4.1.- Humedad: QUINCE COMA CERO POR CIENTO (15,0%).

4.2.- Picado: CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%).

4.3.- Insectos y/o arácnidos vivos:

Libre. 4.4.- Semillas de chamico

(*Datura ferox*):

4.4.1.- CINCO (5) semillas por kilogramo. Con vigencia a partir del 1º de enero de 2015.

4.5.- Asimismo, aquel sorgo granífero que presente olores comercialmente objetables, granos amohosados, aquel tratado con productos que alteren su condición natural, o que por cualquier otra causa sea de calidad inferior, también será considerado fuera de estándar.

5.- GRADO:

Dentro del tipo contratado el comprador está obligado a recibir mercadería de cualquiera de los TRES (3) Grados establecidos en este estándar.

5.1.- BONIFICACIONES Y REBAJAS POR GRADO EN EL PRECIO: GRADO 1: Bonificación UNO COMA CERO POR CIENTO (1,0%).

GRADO 2: Sin bonificación ni rebaja.

GRADO 3: Rebaja UNO COMA CINCO POR CIENTO (1,5%).

6.- DEFINICIÓN DE LOS RUBROS DE CALIDAD Y CONDICIÓN DE LA MERCADERÍA:

6.1.- RUBROS DE CALIDAD DETERMINANTES DEL GRADO:

6.1.1.- Granos dañados: Son aquellos granos o pedazos de granos de sorgo granífero que presenten una alteración sustancial en su constitución. Se consideran como tales los granos:

6.1.1.1.- Brotados: Son aquellos en los que se ha iniciado visiblemente el proceso de germinación (Fig. 28.2.A). Tal hecho se manifiesta por una ruptura de la cubierta del germen, a través de la cual asoma el brote.

6.1.1.2.- Calcinados: Son aquellos que se desmenuzan cuando se hace una leve presión sobre los mismos, mostrando en su interior un aspecto blanquecino y yesoso (Fig. 28.2.B).

6.1.1.3.- Con carbón: Son aquellos transformados en una masa negruzca pulverulenta constituida por los esporos del hongo *Sphacelotheca sorghi* (L) (Fig. 28.2.C). Asimismo se incluirán dentro del rubro granos dañados a los granos helados, ardidados, fermentados, etc.

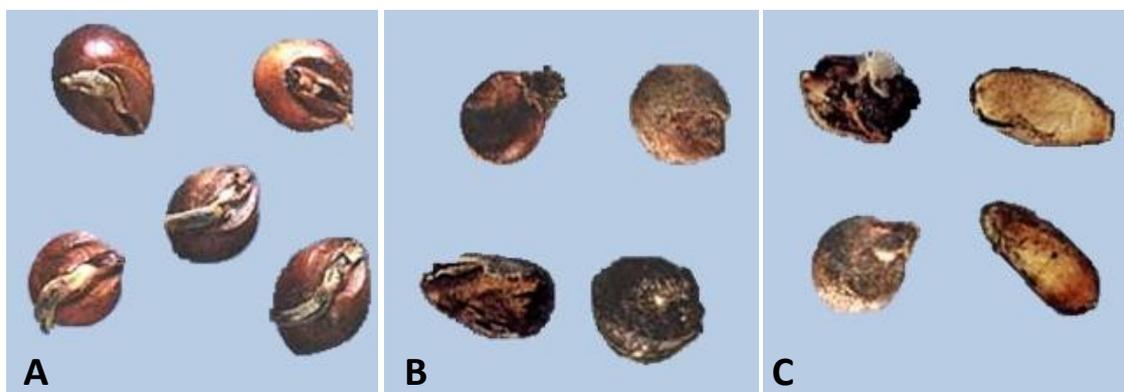


Figura 28.2. Granos de sorgo **A.** Brotados **B.** Calcinados y **C.** Con carbón. Adaptado de Mader servicios (2008)

6.1.2.- Materias extrañas y sorgos no graníferos: Es toda materia inerte y aquellos granos o pedazos de granos que no sean de sorgo granífero y los sorgos no graníferos en los cuales se encuentran adheridas las glumas al grano, tales como los sorgos azucarados, sudan grass, negro y el "maíz de Guinea"(Fig. 28.3.A y B).

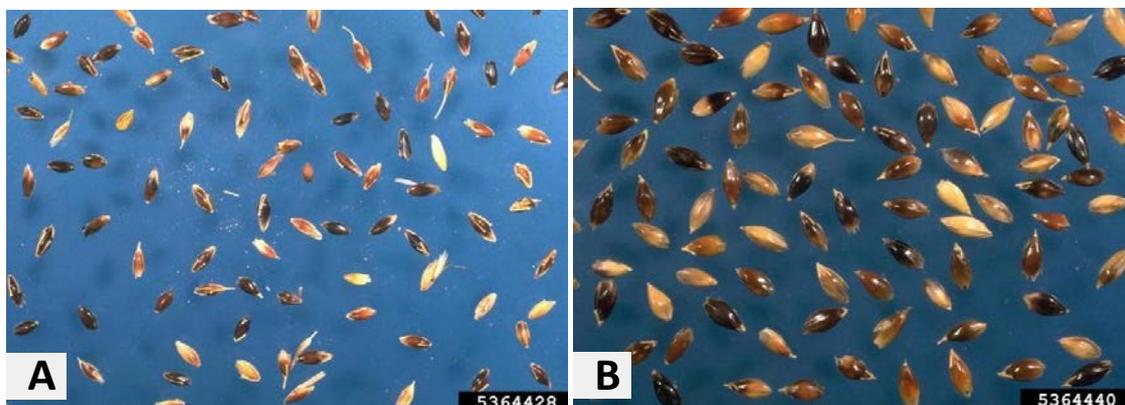


Figura 28.3. Sorgos no graníferos **A.** Granos de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*). **B.** Granos de pasto sudán o Sudan grass (*Sorghum x drummondii*). Fuente: Schwartz (2008)

6.1.3.- Granos quebrados: Son aquellos pedazos de grano de sorgo granífero que pasen por una zaranda como la descrita en el punto 8.3.1., excluidos los pedazos de grano de sorgo granífero dañados.

6.2.- RUBROS DE CONDICIÓN EXCLUYENTES DEL GRADO:

6.2.1.- Insectos y/o arácnidos vivos: Son aquellos que afectan a los granos almacenados (gorgojos, carcomas, etc.) (Fig.28.4.A y B).



Figura 28.4. A. Adulto y B. Larva de la polilla de los cereales (*Sitotroga cerealella*) en granos de sorgo. Adaptado de Peairs (2007)

6.2.2.- Granos picados: Son aquellos que presentan perforaciones causadas por el ataque de insectos (Fig. 28.5.A).

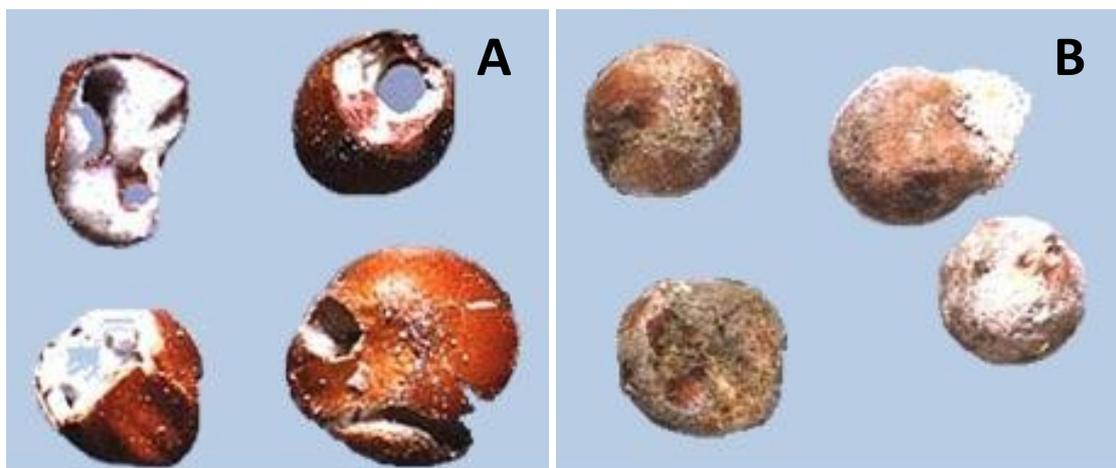


Figura 28.5. A. Granos picados. B. Granos amohosados. Adaptado de Mader servicios (2008)

6.2.3.- Olores comercialmente objetables: Son aquellos que por su intensidad y persistencia afectan la calidad del lote.

6.2.4.- Productos que alteran la condición natural del grano: Son aquellos que resultan tóxicos o perniciosos y/o que impiden la normal utilización del grano.

6.2.5.- Amohosados: Se considera como tal a todo lote que presente una elevada proporción de granos que llevan moho adherido en la mayor parte de su superficie (Fig. 28.5.B).

6.2.6.- Humedad: Es el contenido de agua, expresado en por ciento al décimo, sobre muestra tal cual, determinado mediante el procedimiento establecido en la Norma XXVI (Metodologías varias) o la que en el futuro la reemplace.

6.2.7.- Chamico: Semillas pertenecientes a la especie *Datura ferox* L. (Fig. 28.6.A y B).

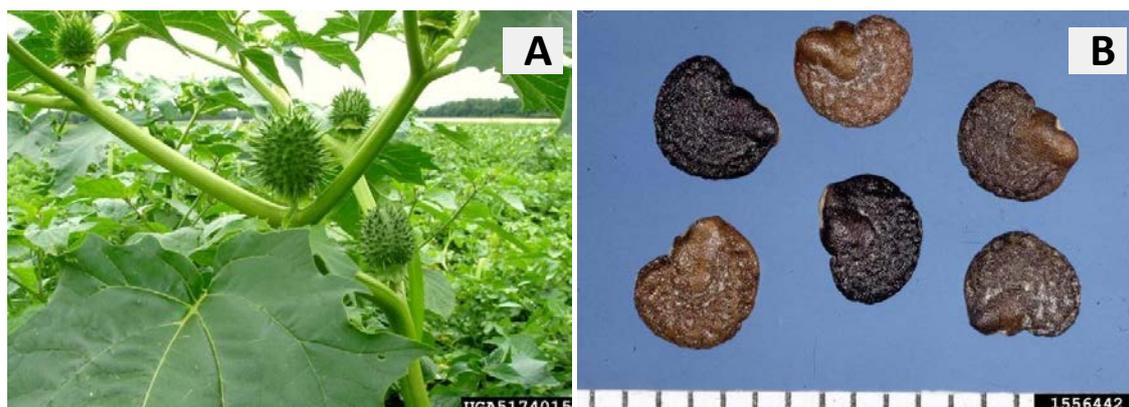


Figura 28.6. A. planta y B. semillas de chamico (*Datura ferox*). Fuente: Samanek (2007)

7.- MECÁNICA OPERATIVA PARA EL RECIBO DE LA MERCADERÍA:

A fin de evaluar la calidad de la mercadería de cada entrega, se extraerá UNA (1) muestra representativa de acuerdo al procedimiento establecido por la Norma XXII (Muestreo en granos), o la que en el futuro la reemplace.

Una vez extraída la muestra representativa del lote a entregar, se procederá en forma correlativa a efectuar las siguientes determinaciones (en caso que la mercadería a entregar corresponda a las especificaciones 2.1.1., 2.2.1. y/o 2.2.2. de la clasificación por presencia de taninos y por color se determinarán los Puntos 7.1. y/o 7.2., respectivamente)

7.1.- Presencia de granos con taninos condensados: Su determinación se realizará según la metodología descrita en el Punto 11 Metodologías Analíticas, pudiéndose rechazar la mercadería en caso de superarse el límite establecido.

7.2.- Color: Su determinación se realizará por simple apreciación visual, pudiéndose rechazar la mercadería en caso de superarse el límite establecido. En caso de necesidad de cuantificar se procederá sobre VEINTICINCO (25) gramos.

7.3.- Presencia de insectos y/o arácnidos vivos: Se determinará por simple apreciación visual mediante el uso de una zaranda apropiada para tal fin. La presencia de UN (1) insecto y/o arácnido vivo o más en la muestra, determinará el rechazo de la mercadería.

7.4.- Olores comercialmente objetables: Productos que alteran la condición natural del grano y otras causas de calidad inferior: Se determinarán por métodos empíricos sensoriales.

7.5.- Granos picados: Su determinación se realizará por simple apreciación visual. En caso de necesidad de cuantificar (para mercadería cercana al límite de tolerancia), se procederá sobre VEINTICINCO (25) gramos por duplicado.

7.6.- Amohosados: Se determinará apreciando visualmente la proporción e intensidad de estos caracteres que afectan al lote en su conjunto.

7.7.- Humedad: Se determinará de acuerdo con los procedimientos establecidos en la Norma XXVI (Metodologías Varias) o la que en el futuro la reemplace.

7.8.- Semillas de chamico: Se realizará la determinación sobre el total de la muestra y el resultado se expresará por kilogramo.

7.9.- Calidad: Sin perjuicio del análisis que oportunamente deberá realizarse, se determinará por visteo en forma provisoria, a los efectos del recibo, si la mercadería se encuentra dentro de las tolerancias máximas establecidas para el Grado 3.

8.- MECÁNICA OPERATIVA PARA LA DETERMINACIÓN DEL GRADO:

Se separará una porción de VEINTICINCO (25) gramos representativos de la muestra lacrada, preferentemente mediante el uso de un homogeneizador y divisor de muestras y se procederán a efectuar, en forma correlativa, las determinaciones indicadas a continuación:

8.1.- Granos dañados: Se procederá a separar manualmente todos los granos o pedazos de granos dañados presentes.

8.2.- Materias extrañas y sorgos no graníferos: Se procederá a separar manualmente las materias extrañas y sorgos no graníferos.

8.3.- Granos quebrados: El remanente de las separaciones efectuadas anteriormente se volcará sobre una zaranda como la descrita a continuación, y se procederá a realizar QUINCE (15) movimientos de vaivén sobre una superficie lisa y firme, con la amplitud que el brazo permita. Se pesará el material depositado en el fondo de la zaranda.

8.3.1.- Zaranda a utilizar:

8.3.1.1.- Chapa de duro aluminio de CERO COMA OCHO (0,8) milímetros de espesor (+/- 0,1mm).

Agujeros triangulares (triángulos equiláteros): de modo tal que el diámetro del círculo inscripto sea de UNO COMA NOVENTA Y OCHO (1,98) milímetros (+/- 0,013 mm). Diámetro útil: TREINTA (30) centímetros. Alto: CUATRO (4) centímetros.

8.3.1.2.- Fondo: chapa de aluminio UN (1) milímetro de espesor. Diámetro: TREINTA Y TRES (33) centímetros. Alto: CINCO (5) centímetros.

9.- EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS:

Los resultados se expresarán al centésimo en forma porcentual, relacionando el peso del rubro separado con el de la porción analizada.

10.- NORMAS PARA LA LIQUIDACIÓN DE LA MERCADERÍA FUERA DE ESTÁNDAR:

10.1.- Para determinar el valor correspondiente a la mercadería recibida, que resulte fuera de estándar, se tomará como base el del Grado 3 o el del grado resultante del análisis, según se trate de los rubros incluidos en las definiciones de calidad o rubros de condición, respectivamente.

10.2.- Rubros de descuento proporcional por calidad: Los excedentes por cada por ciento sobre las tolerancias del Grado 3, se calcularán de acuerdo a la tabla que se consigna a continuación:

RUBRO	DESCUENTO
GRANOS QUEBRADOS	0,50%
GRANOS DAÑADOS	1,00%
MATERIAS EXTRAÑAS Y SORGOS NO GRANÍFEROS	1,00%

10.3.- Rubros de descuento por fuera de condición: Las rebajas se calcularán de acuerdo a la tabla que se consigna a continuación, efectuándose el descuento en forma proporcional por cada por ciento sobre las tolerancias establecidas en el Punto 4.

RUBRO	DESCUENTO
GRANOS PICADOS	1,00%
OLORES OBJETABLES (Según intensidad)	Desde el 0,50% al 2,00%
GRANOS AMOHOSADOS (Según intensidad)	Desde el 0,50% al 2,00%

10.4.- Rubro de descuento por chamico.

10.4.1.- Con vigencia a partir del 01/01/2015

RUBRO: CHAMICO	DESCUENTO
Más de CINCO (5) semillas y hasta DIEZ (10) semillas por kilogramo de Muestra	1,50%
Más de DIEZ (10) semillas y hasta TREINTA (30) semillas por kilogramo de muestra	2,50%
Más de TREINTA (30) semillas y hasta CIEN (100) semillas por kilogramo de muestra	3,00%
Más de CIEN (100) semillas y hasta DOSCIENTAS (200) semillas por kilogramo de muestra	5,00%
Para valores superiores a DOSCIENTAS (200) semillas por kilogramo de muestra las partes acordarán los descuentos respectivos.	

10.5.- Humedad: Se aplicará la merma porcentual de peso correspondiente según tabla oficial vigente en el momento de la entrega (o de acuerdo a la aplicación del cálculo de la merma correspondiente). Deberá abonarse la tarifa de secado convenida o fijada.

11.- METODOLOGIAS ANALÍTICAS

MÉTODO PARA EL RECIBO Y CLASIFICACIÓN DE LA MERCADERÍA (Metodología Rápida) Determinación de granos con taninos condensados: Para determinarlos se utilizará la "Prueba del blanqueo con cloro" (Chloro bleach test con base álcali), de acuerdo al siguiente procedimiento: Reactivo de blanqueo disolver CINCO (5) gramos de hidróxido de sodio en CIEN (100) mililitros de solución de hipoclorito de sodio al TRES COMA CINCO POR CIENTO (3,5%) (lavandina comercial). Procedimiento: Antes de realizar la técnica se deben ensayar un patrón de sorgo con tanino y otro bajo tanino o sin taninos condensados. El test debe realizarse por duplicado obteniéndose un valor medio entre ambos resultados. Colocar CIEN (100) granos de sorgo entero en un vaso de precipitado de CINCUENTA (50) mililitros. Agregar solución de blanqueo hasta cubrir los granos de sorgo y tapar con papel de aluminio. No exceder un volumen de solución de blanqueo que podría producir falso positivo. Dejar en contacto a temperatura ambiente VEINTE A TREINTA GRADOS CENTIGRADOS (20° C a 30° C) por VEINTE (20) minutos. Agitar el contenido del vaso cada CINCO (5) minutos aproximadamente. Vaciar el contenido del vaso en un colador, descartando la solución de blanqueo. Enjuagar los granos de sorgo con agua corriente. Volcar, los granos enjuagados en el colador, sobre una toalla de papel y secar por encima con otra toalla. Contar los granos oscurecidos (granos con tanino). Los granos sin tanino son los que se han blanqueado por completo o están marrones en alguna parte de la superficie. Se efectúa el conteo de granos enteros que se hayan identificado con presencia de taninos condensados y se determina su porcentaje en la muestra, en relación con la cantidad de granos enteros totales de la misma.

GRADO	TOLERANCIA MAXIMA PARA CADA GRADO					FUERA DE ESTANDAR
	Granos dañados %	Materias extrañas y sorgo no granifero %	Granos quebrados %	GRANOS PICADOS %	HUMEDAD %	La mercadería que exceda las tolerancias establecidas, que presente olores comercialmente objetables, granos amohosados, que estén tratados con productos que alteren su condición natural, o que por cualquier otra causa sea de calidad inferior, será considerada fuera de estándar.
1	2	2	3	0,5	15	DESCUENTOS SOBRE EL PRECIO -Olores objetables (según intensidad): desde 0,50% a 2,00% -Granos amohosados (según intensidad): desde 0,50% a 2,00% -CHAMICO (Datura ferox) Con vigencia a partir del 01/01/2015: Más de 5 semillas y hasta 10 semillas por kg de muestra: 1,50% Más de 10 semillas y hasta 30 semillas por kg de muestra: 2,50% Más de 30 semillas y hasta 100 semillas por kg de muestra: 3,00% Más de 100 semillas y hasta 200 semillas por kg de muestra: 5,00%
2	4	3	5			
3	6	4	7			
Descuento por Excedente	1	1	0,5	1	Tarifa convenida y merma de secado y manipuleo	

Bibliografía

- Barberis N. Sánchez C. (2013). *Informe de cultivo de sorgo: evolución y perspectivas*. Un análisis de las estadísticas, julio 2013. Disponible en:
http://inta.gov.ar/documentos/cultivo-de-sorgo-evolucion-y-perspectivas.-un-analisis-de-las-estadisticas-julio-2013/at_multi_download/file/INTA%20Informe%20de%20cultivo%20de%20sorgo_evolucion%20y%20perspectivas.pdf ultimo acceso: junio de 2015.
- Bragachini M., Casini C., Saavedra A., Méndez J., De Carli R., Behr, E., Errasquin L., Ustarroz F., Urrets Zavalía G., Forquera E. & Alladio M. (2012). *Evolución del Sistema Agropecuario Argentino*. Manfredi, Córdoba (AR): Ediciones INTA – PRECOP. Actualización técnica PRECOP N° 73. Disponible en
<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/pdfs/EvolSistemaProdAgropArgentino2011.as>
 p. Consultado octubre 2014.
- Chiessa A. (2001). *Calidad del sorgo granifero: su valor nutritivo depende del contenido de taninos condensados, aprendamos a reconocer su presencia*. Revista Forrajes y granos pp 3.
- Dragún P., Moreno A.M., Picasso S., Lardizabal J., Gatti N., Tellechea M. & Conti A. (2010). *Monitoreo y estudio de cadenas de valor ONCCA*. Informe de sorgo. Buenos Aires (AR): ONCCA, 18 pp. Disponible en:
[http://www.maizar.org.ar/documentos/cadena%20de%20valor%20oncca%20dic%202010%200\(2\).pdf](http://www.maizar.org.ar/documentos/cadena%20de%20valor%20oncca%20dic%202010%200(2).pdf). Consultado octubre 2014.
- FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations e ICRISAT, International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics.(1997). *La Economía del Sorgo y del Mijo en el Mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas*. Roma, Italia. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/W1808E/W1808E00.htm>. Consultado Octubre 2014.
- Mader servicios. (2008). *Catalogo de daños y defectos de granos*. Disponible en:
<http://www.maderservicios.com.ar/?wAccion=catgra.sorgo> ultimo acceso: junio de 2015.

- MAGyP. (2015). *Ingresa el primer embarque de sorgo a China*. Disponible en: www.minagri.gob.ar. Ultimo acceso: junio de 2015.
- Mestre Y. (2007). *Usos del sorgo granífero en la alimentación humana y otros*. 2007. INTA-EE Rafaela. Información Técnica Cultivos de Verano. Publicación miscellanea N° 108.
- Peairs F. (2007). *Rice moth Corcyra cephalonica*. Colorado State University, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1481065> ultimo acceso: junio de 2015.
- Pelta H.R. & Labarthe F. (2014). *Sorgo Granífero: un cultivo para tres usos*. EEA. Bordenave - Oficina Tornquist.
- Samaneck J.(2007). *Jimson weed Datura stramonium*. State Phytosanitary Administration, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5174015> ultimo acceso: junio de 2015.
- Schwartz H.F. (2008). *Sorghum bicolor ssp. Drummondii and Sorghum halepense*. Colorado State University, Bugwood.org. Disponible en : <http://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5364428> ultimo acceso: junio de 2015.
- Southwick C. (2012). *Sorghum Sorghum bicolor*. Dried Botanical ID, USDA APHIS ITP, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5464102> ultimo acceso: junio de 2015.
- USDA, United States Department of Agriculture. (2013). *Foreign Agricultural Service Production, Supply and Distribution Online*. Washington (EU). Disponible en <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx> Consultado: junio 2014.

CAPÍTULO 20

Sorgo: Objetivos del mejoramiento genético

María Rosa Simón y Guillermo Gerard

Introducción

El sorgo (*Sorghum bicolor* Moench.) es una especie diploide ($2n = 2x = 20$) con un número haploide de 10 cromosomas y un genoma cuyo tamaño es aproximadamente el 25 % del genoma del maíz. Se trata de una planta que presenta panojas con flores bisexuales, principalmente autógama aunque presenta de un 5 a 15 % de alogamia dependiendo de la dirección del viento, tipo de genotipo y humedad ambiente (House, 1985). Su alto nivel de endogamia conjuntamente con la gran variación genética que presenta en partición de carbono, precocidad y características asociadas tales como macollaje, lo hacen un atractivo sistema de estudio de asociación genética. El sorgo es una especie C4 con alta eficiencia fotosintética y alta tolerancia a estrés abiótico (Nagy *et al.*, 1995; Reddy *et al.*, 2009), lo que sumado al tamaño relativamente pequeño de su genoma (818 Mbp) dentro de este grupo de plantas, lo convierte en el principal modelo de estudio de la genómica funcional de gramíneas C4 (Price *et al.*, 2005). El cultivo de sorgo presenta mejor adaptación a ambientes con limitaciones hídricas comparados con otros cultivos (Mullet *et al.*, 2001; Sanchez *et al.*, 2002). Este atributo es de gran importancia teniendo en cuenta que la demanda de alimento y agua se incrementa como consecuencia del crecimiento de la población mundial (Gleick, 2003). Su tolerancia a la sequía hace que su cultivo sea especialmente importante en regiones secas y aunque es originario de África, gracias a la gran variabilidad genética presente en sus diferentes tipos, ha sido adaptado a través del mejoramiento a muy diversas regiones del mundo (Paterson *et al.*, 2009). Existen numerosas instituciones ya sea públicas o privadas que dedican sus esfuerzos al mejoramiento del cultivo en todo el mundo, siendo el ICRISAT (Instituto Internacional de Investigación Agraria de Zonas Semiáridas) uno de los más importantes. Dentro de los principales objetivos que se plantean estas instituciones en el mejoramiento del cultivo se pueden mencionar: mayores rendimientos, amplia adaptación a distintos ambientes, resistencia al vuelco, tolerancia a estrés térmico, tolerancia a sequía, toxicidad a aluminio, suelos ácidos, resistencia a las enfermedades y plagas más importantes del cultivo, resistencia al ataque de pájaros, mejoramiento en calidad, etc. (Fig. 20.1).

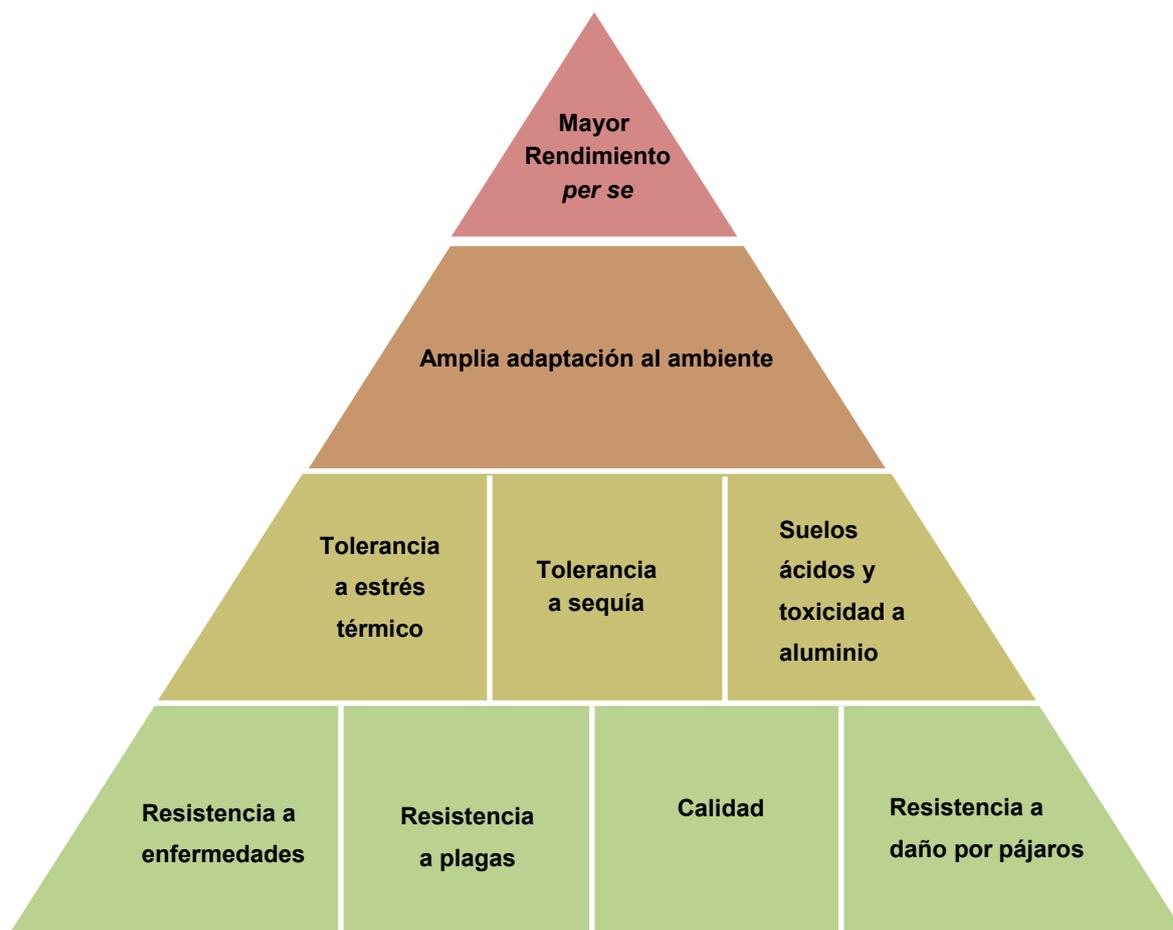


Figura 20.1.Principales objetivos de mejoramiento en el cultivo de sorgo

Mayores rendimientos

El rendimiento es el carácter más importante en la mayoría de los programas de mejoramiento del sorgo, al igual que en otros cultivos agrícolas. El mejoramiento por mayores rendimientos es realizado por selección directa de genotipos de alto rendimiento o por los componentes del mismo. Generalmente, genotipos de ciclo más largo están asociados a mayores rendimientos, pero la duración de la estación de crecimiento en muchas regiones del mundo restringe la duración de los mismos. En estas condiciones genotipos con alturas y ciclo a madurez intermedios (1 a 1,5 m y 100 a 120 días) son los que mejor se adaptan, facilitando a su vez la cosecha mecánica (Reddy *et al.*, 2012).

Los productores han realizado selección individual de plantas dentro de poblaciones heterogéneas y lo continúan haciendo en muchas partes del mundo. Seleccionan las mejores plantas e inflorescencias para mejorar el cultivo el próximo año. A pesar de este tipo de selecciones individuales en la década de 1940 se creyó que se había alcanzado una meseta en los rendimientos, hasta que Stephens & Holland (1954) descubren el sistema de esterilidad citoplasmática masculina, lo que permitió el desarrollo comercial de híbridos. Los híbridos desarrollados posibilitaron un incremento de rendimiento en todo el mundo (Quinby, 1973). El

vigor híbrido ha sido observado durante muchos años en el cultivo de sorgo, con plantas de mayor altura y de mayor vigor. Los híbridos de sorgo están generalmente asociados a mayores rendimientos, debido principalmente a un mayor macollaje y a un incremento en el número de granos por panoja (Maqbool *et al.*, 2001), presentando pocas diferencias en tamaño de grano e índice de cosecha (Fig. 20.2).

Valores de heterosis de 30 a 40 % para rendimiento en grano han sido reportados en híbridos comparados con las mejores variedades (Ashok Kumar *et al.*, 2011). El desarrollo de las líneas parentales es crítico para explotar la heterosis en los híbridos. Por ello, el mejoramiento se realiza en primera medida seleccionando líneas puras y luego se desarrollan los híbridos. En Estados Unidos desde el 1950 hasta el 1980 el rendimiento en grano se ha incrementado a una tasa del 7% anual. El incremento de rendimiento de los nuevos híbridos respecto de los más viejos reflejó un incremento significativo en el número de granos. panoja⁻¹, con pequeñas diferencias en el tamaño de los mismos. El peso seco total de la planta, área foliar y altura también se incrementaron en híbridos nuevos, aunque no se encontraron diferencias significativas en el índice de cosecha (Miller & Kebede, 1984).

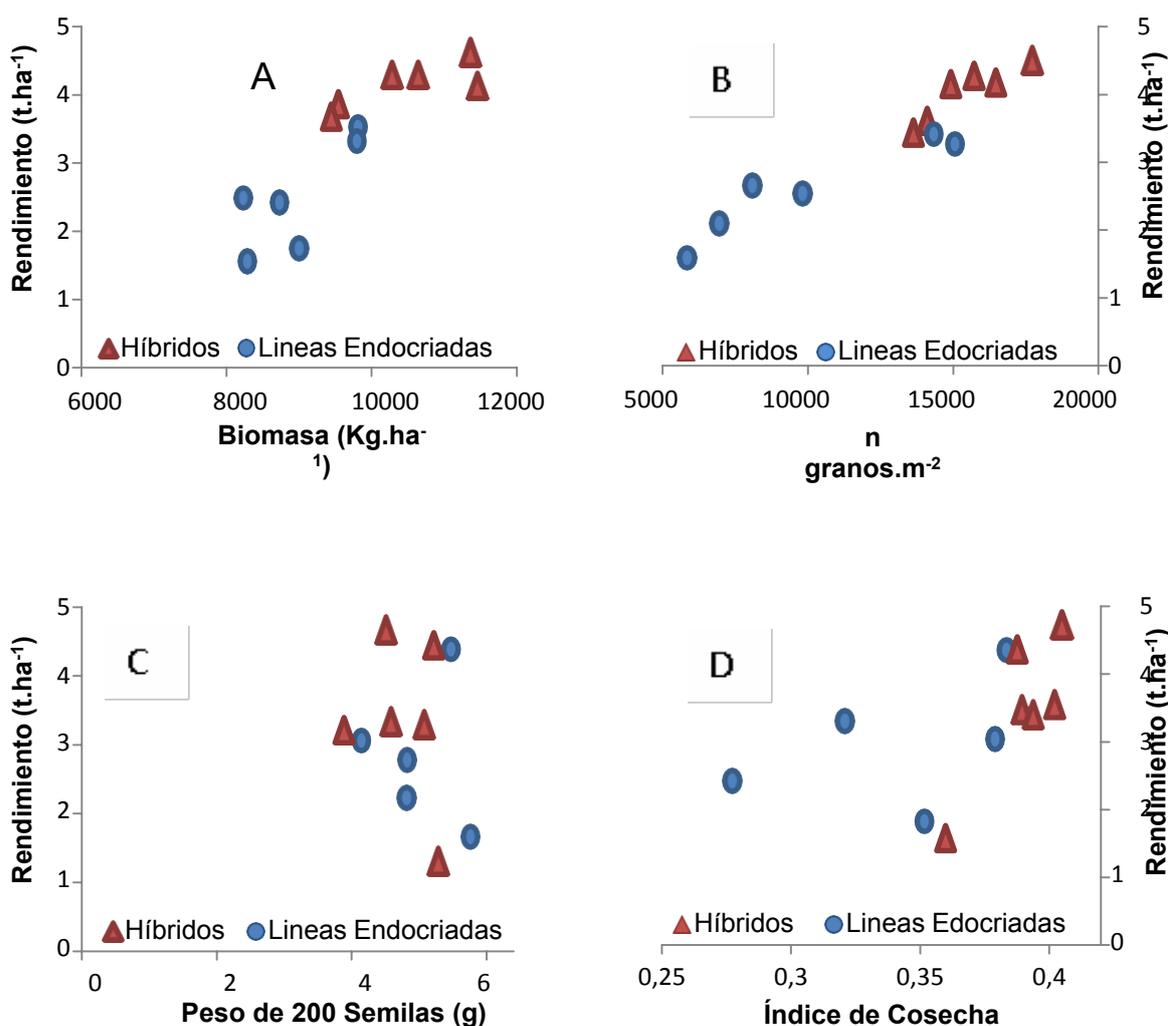


Figura 20.2. Correlación entre rendimiento de grano y **A.** biomasa, **B.** número de granos.m⁻², **C.** peso de 200 semillas y **D.** índice de cosecha para híbridos de sorgo y sus líneas endocriadas. Adaptado de Mahama *et al.* (2014)

Estos resultados se limitan a países donde los híbridos son los cultivares que prevalecen. Pero para obtener una mejor perspectiva de la ganancia de rendimiento en sorgo, es necesario hacer un análisis que incluya a todos los países productores. Del análisis global surge que los niveles de rendimiento se han incrementado sustancialmente, pero los incrementos en productividad por año son menores ($0,96\% \cdot \text{año}^{-1}$) (Fig.20.3). La ganancia de rendimiento en la mayoría de los países productores no se encuentra asociada con una mayor estabilidad de rendimiento (Rakshit *et al.*, 2014). Además, los rendimientos en sorgo han aumentado de manera más lenta comparados con los de maíz, debido a grandes diferencias en los programas de investigación y mejoramiento de los dos cultivos (Frey, 1996).

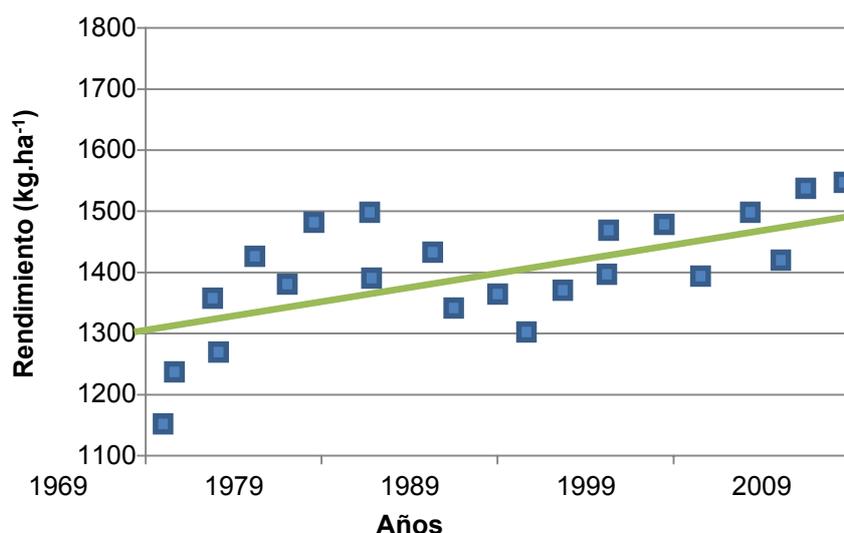


Figura 20.3. Evolución mundial del rendimiento del cultivo de sorgo para el periodo 1970-2009. La línea representa el modelo de regresión ajustado. Adaptado de Rakshit *et al.* (2014)

A pesar del mejoramiento realizado en estaciones de investigación, la productividad se ha incrementado solo marginalmente en los campos de producción de países en desarrollo, principalmente África. La reducción de estas diferencias de productividad es uno de los principales desafíos futuros del mejoramiento, donde los estreses bióticos y abióticos son los responsables del mismo. Adicionalmente, se requieren mayores soportes a la investigación en países donde la productividad del sorgo es más baja (Doggett, 1988).

Amplia adaptación al ambiente

El sorgo en lo que respecta a su respuesta al fotoperiodo se comporta como planta de día corto, aunque presenta variación en su respuesta al mismo y a la temperatura, lo que determina su adaptación a un amplio rango de ambientes en su zona de origen (Craufurd *et al.*, 1999). Por su origen cercano al Ecuador, en el noreste de África, presenta alta sensibilidad a la longitud del día y a las temperaturas, con un fotoperiodo crítico de 12 horas o superior,

dependiendo del genotipo (Miller *et al.*, 1968). Como consecuencia, cuando la longitud del día disminuye por debajo de esta duración, el ambiente le indica el final de la estación de crecimiento vegetativo, originándose un cambio de crecimiento de vegetativo a reproductivo (Doggett, 1988). En regiones subtropicales o templadas, las plantas de sorgo con alta sensibilidad al fotoperiodo no florecen, ya que en la estación de crecimiento los días presentan más de 12 horas de luz. Como consecuencia de ello, su introducción en este tipo de regiones necesitó de modificaciones en su respuesta al fotoperiodo. La adaptación de esta planta tropical a días más largos, ocurrió por selección de mutaciones espontáneas de plantas poco sensibles al fotoperiodo. Esto llevó primeramente al descubrimiento de cuatro genes de madurez (Ma1-4) (Quinby, 1967) y luego de dos adicionales (Ma5-6) (Rooney & Aydin, 1999), siendo el *Ma1* el más comúnmente utilizado para manipular la duración de su ciclo. Una planta que posee estos genes en forma recesiva será insensible al fotoperiodo, comportándose bajo condiciones de día largo como si estuviera bajo condiciones de día corto (Fig. 20.4).

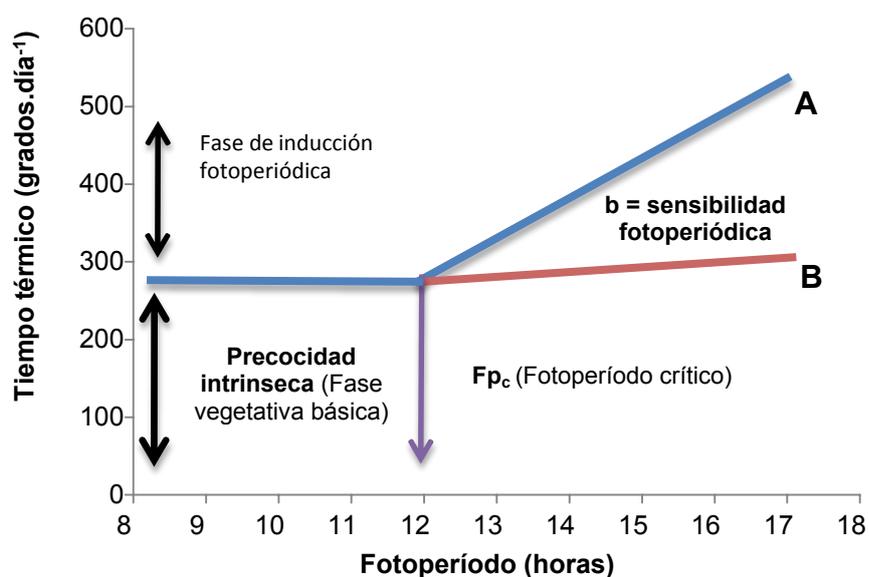


Figura 20.4. Modificación en la sensibilidad al fotoperiodo a través de la mutación en los genes de madurez. A y B genotipos con mayor y menor sensibilidad respectivamente. Adaptado de Major *et al.* (1990)

En el futuro, la identificación de marcadores moleculares ligados a estos genes y el descubrimiento de genes o QTLs de madurez adicionales, ayudará a transferir sensibilidad al fotoperiodo en cultivares elite, desarrollados en ambientes templados, para una mejor adaptación a ambientes tropicales y subtropicales o viceversa (Reddy *et al.*, 2012).

La altura es otra característica de la planta de sorgo que se ha modificado a través del mejoramiento con el objetivo de lograr una mejor adaptación. Variedades provenientes del centro de origen en general, además de poseer ciclos largos de desarrollo, se caracterizaron por alturas importantes de plantas. Con el fin de facilitar la cosecha mecánica, distintos programas de mejoramiento, al igual que los propios

productores, han seleccionado plantas de menor altura. Se han identificado cuatro genes mayores que controlan la altura de planta (Quinby & Karper, 1954). Tales genes afectan la longitud de los entrenudos, por lo que fueron designados como genes de enanismo Dw 1-4 (en inglés: Dwarfing). Los mismos tienen dominancia parcial sobre el carácter y sus efectos son aditivos. Los genotipos de sorgo con alelos dominantes (DW) para los cuatro loci pueden llegar a tener 4 metros de altura, mientras que cultivares con alelos recesivos (dw) para los cuatro loci tienen solo 0,45 a 0,6 metros de altura. Esto ha permitido adaptar la altura de planta a través de la correspondiente combinación de genes de enanismos. Posteriores estudios adicionales de QTL han confirmado la presencia de nuevos loci con grandes efectos sobre la altura de planta. De esta manera, Lin *et al.* (1995) mapeó seis QTL para altura en una población interespecífica de sorgo. Un mayor descubrimiento y disponibilidad de este tipo de genes permite realizar mayores ajustes al carácter de acuerdo a la necesidad de adaptación para cada región en particular.

Tolerancia a estrés térmico

Dado que por su origen, el cultivo de sorgo está adaptado a climas cálidos, la prevalencia de bajas temperaturas de suelo principalmente en áreas templadas reduce la germinación y emergencia de plántulas, retrasando además el crecimiento. El estrés por frío puede ocurrir en diferentes periodos a lo largo del ciclo del cultivo: (i) al comienzo del ciclo, generando baja germinación y lento crecimiento, (ii) al final de la estación de crecimiento, reduciendo la tasa de llenado y con ello el rendimiento y la calidad o (iii) impredeciblemente en cualquier etapa de crecimiento. Al utilizar cultivares de ciclo corto conjuntamente con la manipulación de la fecha de siembra, se podría llegar a evitar problemas de estrés por frío de los dos primeros casos. Sin embargo, para el último caso, una posibilidad sería seleccionar por mayor tolerancia a bajas temperaturas y posteriormente incorporar esa característica a cultivares de interés a través del mejoramiento. Existe variabilidad genética dentro del carácter y genotipos tolerantes muestran además incrementos en el vigor de la semilla, lo que permite mayores rendimientos cuando son comparados con genotipos sensibles en ambientes fríos. Este tipo de genotipos presentan en general temperaturas óptimas de crecimiento 6 a 10 °C menores que cultivares no tolerantes (Eastin, 1976). Se ha observado que diferentes caracteres como el tamaño de la panoja, índice de cosecha de la panoja (peso de granos/peso raquis) y un buen llenado de granos pueden ser buenos indicadores para caracterizar genotipos según su respuesta a bajas temperaturas (Reddy *et al.*, 2012).

Por otro lado, a pesar del alto nivel de adaptación del cultivo de sorgo a los trópicos, el establecimiento de las plantas como consecuencia de estrés calórico en ambientes extremos es todavía un problema. Las fallas en el stand de plantas debido a estrés por

calor son factores claves que limitan el rendimiento y afectan la estabilidad de la producción (Reddy *et al.*, 2012). Numerosos trabajos han reportado la existencia de variabilidad genética en la tolerancia a altas temperaturas (Thomas & Miller, 1979; Jordan & Suvillan, 1982), existiendo líneas que son capaces de emerger con temperaturas de suelo cercanas a 55 °C. Además, se observa una correlación positiva entre esta característica y el rendimiento, lo que hace al mejoramiento por tolerancia al calor una opción viable. Khizzah *et al.* (1993) estudiaron la tolerancia a altas temperaturas en un cruzamiento de cuatro parentales y a través de lo observado en la distribución de frecuencias, concluyeron que el carácter estaba controlado por solo dos loci con dominancia completa y efectos aditivos. Por lo que el mejoramiento podría resultar relativamente sencillo debido al reducido número de genes que lo controlan.

Tolerancia a sequía

El cultivo de sorgo tiene la capacidad de sobrevivir durante periodos de sequía y reanudar su crecimiento luego de que ocurren las lluvias (Reddy *et al.*, 2012). En este contexto, dos respuestas distintas al estrés por sequía han sido consideradas como las más importantes en el cultivo: tolerancia a sequía preantesis y posantesis, ocurriendo esta última cuando las limitaciones de agua acontecen durante el periodo de llenado de granos (Rosenow *et al.*, 1983). Dentro de los rasgos asociados a la tolerancia a sequía, el *stay green* (capacidad de ciertos genotipos para mantener sus hojas verdes durante el periodo de llenado de grano) es el que mejor se ha caracterizado y explotado como rasgo de tolerancia a sequía posantesis (Haryarimana *et al.*, 2010) (Fig. 20.5b). El *stay green* es un carácter poligénico heredable, ampliamente utilizado en programas de mejoramiento de tolerancia a sequía (Jordan *et al.*, 2012). Se ha encontrado que varios mecanismos fisiológicos como mayor capacidad de extracción de agua, mayor eficiencia en el uso, respuestas al déficit de presión de vapor, eficiencia transpiratoria, conductancia y cinética de la hoja entre otros, han estado asociados al carácter *stay green* (Vadez *et al.*, 2011).

Por otro lado se ha observado que en general, cultivares híbridos exhiben mejor comportamiento que cultivares de polinización abierta para rendimiento en grano bajo ambientes con limitados recursos hídricos. Esto ha hecho que el desarrollo de híbridos sea una estrategia importante para mejorar la producción del cultivo en estos ambientes (Reddy *et al.*, 2009). Varios genotipos con características deseables de *stay green* han sido identificados (Kebede *et al.*, 2001). Este tipo de genotipos además presentan reducido vuelco de tallos (Woodfing *et al.*, 1998) y resistencia a podredumbre carbonosa de la raíz (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid) (Rosenow, 1983), por lo que tales características podrían estar genéticamente asociadas.

Varios estudios de mapeo (Tunistra *et al.*, 1996; Xu *et al.*, 2000) han identificando cuatro QTL de efectos mayores denominados como *Stg1-4* y otros QTL de efectos menores que pueden

llegar a modelar la expresión del carácter. Los QTL *Stg 1* y *2* en estos estudios han explicado el 20 y 30 % de la variación fenotípica del carácter, mientras que *Stg3* y *Stg4* lo hicieron en un 16 y 10% respectivamente (Fig.20. 5a). Esta característica se encuentra incorporada en numerosos híbridos que se cultivan en Argentina.

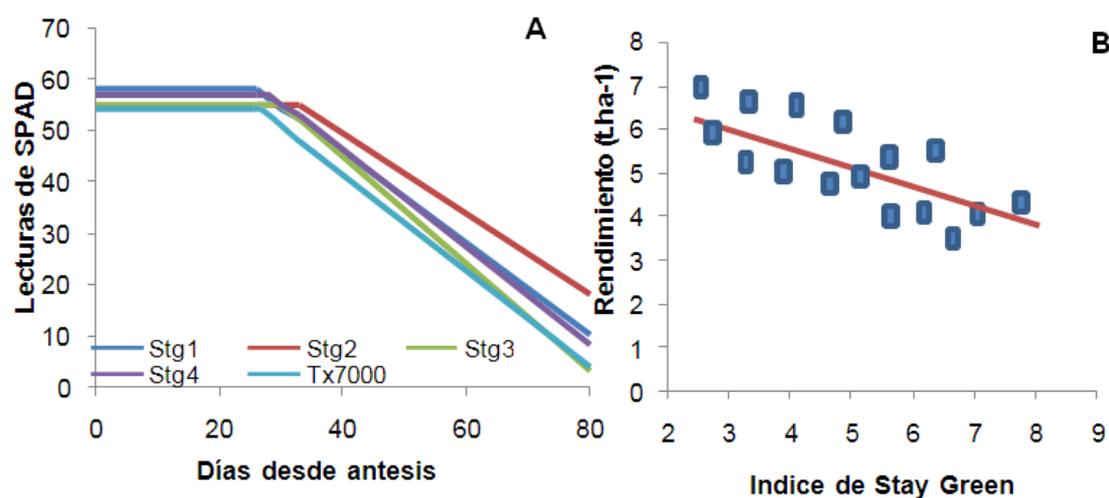


Figura 20.5. **A.** Valores de SPAD vs. días después de floración para cuatro líneas isogénicas *Stg1* (línea verde), *Stg2* (línea celeste), *Stg3* (línea naranja), *Stg4* (línea roja) y su parental recurrente Tx7000 crecidos bajo condiciones de déficit hídrico pos anthesis. **B.** Relación entre rendimiento y *stay green* (2: mayor *stay green*; 9: menor *stay green*). Adaptado de Harris *et al.* (2006)

Tolerancia a aluminio

La toxicidad causada por el aluminio es una de las principales limitaciones abióticas en la productividad del sorgo en todo el mundo (Magalhaes *et al.*, 2004). Adicionalmente, más del 40% de la tierra destinada a la siembra de cultivos son suelos ácidos. El aluminio en suelos ácidos inhibe la absorción de agua y minerales y en consecuencia, reduce el vigor de la planta y el rendimiento (Reddy *et al.*, 2012).

En sorgo el locus *AltSB*, localizado en el cromosoma 3, fue identificado como el mayor determinante de la tolerancia al aluminio, explicando en determinadas líneas el 80% de la variación fenotípica. Ácidos orgánicos liberados por la raíz a la rizósfera que formarían un complejo estable y no tóxico con el aluminio ha sido propuesto como el principal mecanismo fisiológico que explica la tolerancia al aluminio determinada por este locus (Ma *et al.*, 2001). En general *AltSB* ha sido encontrado en la mayoría de las líneas que presentan algún grado de tolerancia.

Resistencia a enfermedades

En la mayoría de las regiones donde se cultiva el sorgo, las enfermedades de mayor importancia económica son el enmohecimiento del grano (*Fusarium moniliforme* (Sheld), *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn, *Fusarium pallidoroseum* (Berk. y Rav.), y *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema, Dorenbosch, y van Kesteren. *F. moniliforme* y *C. lunata*), antracnosis (*Glomerella graminicola* (Politis), tizón de la hoja (*Exserohilum turcicum* (Pass.)), mildiu (*Sclerophthora macrospora* (Sacc.) Thirum), podredumbre carbonosa de la raíz (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid), roya (*Puccinia purpurea* (Cooke)) y carbón (*Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton.). Estas enfermedades, ya sea solas o en combinación, causan daños considerables al cultivo y generan pérdidas económicas importantes cada año (Thakur *et al.*, 2007). Las enfermedades afectan tanto la producción como su calidad y pueden causar pérdidas de entre 30 y 100 % dependiendo del genotipo, ciclo a floración y condiciones de humedad (Singh & Bandyopadhyay, 2000).

Las estrategias adoptadas en su manejo se han basado principalmente en el uso de resistencia de la planta huésped, lo que resulta económica y ambientalmente viable, siendo además factible de realizar a nivel de campos de producción (Reddy *et al.*, 2012). Este tipo de estrategias ha involucrado el uso de técnicas efectivas de selección para identificar genotipos resistentes, los que luego se utilizan en programas de mejora destinados a la obtención de cultivares resistentes.

Para enfermedades como antracnosis, mildiu, roya y tizón foliar varias líneas de mejoramiento y germoplasma de sorgo, con moderados a altos niveles de resistencia, han sido identificados y utilizados en programas de mejoramiento (Thakur *et al.*, 2007). En el caso particular del enmohecimiento de los granos, el mejoramiento ha sido dificultoso debido principalmente a las numerosas especies de hongos involucrados. Rasgos de la planta y del grano como altura, forma del grano, color de pericarpio, espesor de mesocarpio, dureza del endosperma, proteínas anti fúngicas y presencia de testa han sido asociados al incremento de la resistencia. La misma en general ha sido encontrada principalmente en sorgos de grano colorado con o sin testa y solo en unos pocos sorgos blancos. Usando este tipo de fuentes de resistencia se han desarrollado tanto híbridos como variedades (Bandyopadhyay *et al.*, 1988). A través de estudios de QTL se han identificado varias regiones del genoma que influyen en la resistencia (Klein *et al.*, 2000), siendo la magnitud de los mismos afectada por el ambiente. Estudios de heredabilidad indican que múltiples genes con efectos aditivos y de dominancia condicionan la resistencia (Murty & House, 1984). Actualmente diferentes poblaciones de mapeo están siendo desarrolladas por el ICRISAT con el objetivo de seguir identificando QTL asociados a la resistencia.

Por último, fuentes de resistencia a podredumbre carbonosa resultarían de gran importancia ya que cultivares susceptibles son más propensos a vuelco, aunque hasta el momento no se han encontrado altos niveles de resistencia, por lo que se deben implementar otras medidas de manejo de la misma (Reddy *et al.*, 2012).

Resistencia a plagas

Más de 150 especies de insectos han sido mencionados como plagas del cultivo de sorgo en todo el mundo, siendo la mosquita del sorgo (*Contarinia sorghicola* (Coq)), el barrenador del tallo (*Diatraea sacharalis* (Fabr.)), gusanos cogolleros (*Spodoptera frugiperda* (Smith), *Pseudaletia adultera* (Schaus)), astilo moteado (*Astylus atromaculatus* (Blanch)), orugas cortadoras (*Agrotis* spp. y *Peridroma* spp.) y el pulgón verde (*Schizaphis graminum* (Rond.)) los que más limitan el rendimiento del cultivo en nuestro país.

En lo referente al mejoramiento genético de resistencia a las mismas, a través de infestaciones artificiales se han estandarizado técnicas de evaluación de germoplasma, materiales de mejoramiento y poblaciones de mapeo de sorgo para resistencia a muchos de los insectos claves (Sharma *et al.*, 1992). De distintos procesos de selección realizados por ICRISAT se han podido identificar varias líneas con niveles de resistencia a la mosquita del sorgo. Especies salvajes de sorgo también han mostrado aceptables niveles de resistencia a este insecto plaga (Kamala *et al.*, 2008), presentando diversos mecanismos de resistencia. QTL asociados con mecanismos de resistencia de antibiosis y antixenosis a la mosquita del sorgo han sido identificados (Tao *et al.*, 2003). A través de la selección asistida por marcadores se podrían integrar rápidamente estos genes y piramidizarlos en híbridos y variedades de alto rendimiento.

Con respecto al pulgón verde, se ha observado variabilidad en el comportamiento de los genotipos de sorgo. Wu y Huang (2008) realizaron experimentos de mapeo para determinar los efectos genéticos de la resistencia de genotipos de buen comportamiento. A través de los mismos, un QTL de efecto mayor denominado *QSsgr-09-01* fue identificado conjuntamente con un QTL de efecto menor denominado *QSsgr-09-02*. Los mismos explicaron del 55 a 80 % y del 1 a 6 % de la variabilidad fenotípica de la resistencia respectivamente. Ambos QTL parecen tener efectos aditivos como de dominancia parcial. Los marcadores genéticos ligados a los mismos pueden ser utilizados para selección asistida en el mejoramiento de nuevos parentales y en la producción de híbridos comerciales.

Por otro lado, a través de la biotecnología se ha podido desarrollar cultivares transgénicos de sorgo que presentan genes *CRY* pertenecientes a bacterias de suelos, los que generan una toxina que ha permitido un control eficiente sobre los principales insectos barrenadores y cogolleros, aunque los mismos no existen por el momento en Argentina.

Contenido de taninos y ² carotenos

La diferencia más significativa entre el grano de sorgo y el de maíz es la carencia, en los sorgos, de los pigmentos carotenoides. Sin embargo algunos sorgos denominados amarillos tienen un contenido importante de ² caroteno (provitamina A). Todos los sorgos graníferos (independientemente de su color) poseen sustancias tánicas hidrolizables (ácido gálico y ácido elágico) que no representan un factor negativo al considerar su valor nutritivo. Sólo los sorgos

con testa pigmentada, poseen taninos condensados (catequinas, flavonoides y leucoantocianinas). Los taninos condensados, son compuestos que afectan negativamente el valor nutritivo del sorgo, pues acomplejan las proteínas del grano reduciendo su disponibilidad y, asimismo, inhiben la acción de la amilasa (enzima importante durante el proceso de digestión de los granos), causando una disminución en la eficiencia alimentaria, en comparación con los sorgos que no poseen estos compuestos. En el mercado Argentino actual, todos los sorgos con taninos condensados, toman una coloración marrón-café en el periodo de maduración a cosecha de los mismos. De esta manera, los sorgos marrones son fácilmente identificables, al ser comparados con los sorgos rojos o blancos sin taninos condensados (en consecuencia, sin testa pigmentada). La razón por la cual en algunas áreas se eligen sembrar sorgos con taninos condensados, es porque debido a la astringencia que estos compuestos producen, los pájaros los apetece menos que a los que no contienen taninos. Y si tienen la posibilidad de seleccionar, las aves, comerán primero a los sorgos sin taninos condensados, pudiendo en esas zonas extremas producir una disminución significativa del rendimiento. Otra razón que se esgrime, para cultivar sorgos con taninos condensados, es que estos resisten mejor el deterioro ambiental a cosecha, evitando el enmohecimiento. Asimismo, a través de los programas de mejoramiento, los sorgos sin taninos condensados existentes hoy en el mercado Argentino, poseen un tipo de grano que permite cosecharlos con una óptima calidad, aún en condiciones ambientales de alta humedad durante la época de recolección. Los sorgos graníferos sin taninos condensados, tienen un valor nutritivo equivalente a un 95-98% y del valor nutritivo del maíz (Chiesa, 1997).

La piramidización de genes y desarrollo de cultivares con múltiples resistencias a insectos y enfermedades; transferencia de tales genes de resistencia a líneas mantenedoras y repositoras de la fertilidad; identificación de nuevos genes codificando toxinas para el desarrollo de plantas transgénicas y la identificación y aplicación de marcadores moleculares asociados con la resistencia a insectos son los objetivos y desafíos futuros en el mejoramiento a estrés bióticos en este cultivo (Reddy *et al.*, 2012).

Bibliografía

- Ashok Kumar A., Reddy B.V. S., Sharma H.C., Hash C. T., Rao P.S., Ramaiah B. & Reddy P. S. (2011). *Recent Advances in Sorghum Genetic Enhancement Research at ICRISAT*. American Journal of Plant Sciences 2: 589-600.
- Bandyopadhyay R., Mughogho L. K. & Prasada Rao K. E.(1988). *Sources of Resistance to Sorghum Grain Molds*. Plant Disease 72:504-508.
- Craufurd P.Q., Mahalakshmi V., Bidinger F.R., Mukuru S.Z., Chanterreau J., Omanga P.A., Qi A., Roberts E.H., Ellis R.H., Summerfield R.J. & Hammer G.L. (1999). *Adaptation of sorghum: characterisation of genotypic flowering responses to temperature and photoperiod*. Theoretical and Applied Genetics 99:900-911.

- Chiesa, A. (1997). *Calidad del sorgo granifero: su valor nutritivo depende del contenido de taninos condensados, aprendamos a reconocer su presencia.*
http://www.maizar.org.ar/documentos/297_taninosensorgogranifero.pdf. Ultima visita: junio de 2015.
- Doggett H. (1988). *Sorghum. Second edition. New York, USA: John Wiley and Sons.* pp 512.
- Eastin JD. 1976. Temperature influence on sorghum yield. in Proceedings of the Thirty-first Annual Corn and Sorghum Research Conference. H.P. Loden and D. Wilkinson (Eds.) American Seed Trade Association. pp 19–23.
- Frey K.J. (1996). *National plant breeding study.* Iowa State University Experimental Station. Rep. No. 98.
- Gleick P.H. (2003). *Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century.* Science 302:1524-1528.
- Harris K., Subudhi P.K., Borrel A., Jordan D., Rosenow D., Nguyen H., Klein P., Klein R. & Mullet J. (2006). *Sorghum stay-green QTL individually reduce post-flowering drought-induced leaf senescence.* Journal of Experimental Botany 58:327–338.
- Haryarimana E., Lorenzoni C. & Busconi M. (2010). *Search for new stay-green sources in Sorghum bicolor (L.) Moench.* Maydica 55:187–194.
- House L.R. (1985). *A guide to sorghum breeding.* 2da edition, Patancheru Andhra Pradesh India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. pp 165.
- Jordan D.R., Hunt C.H., Cruickshank A.W., Borrell A.K. & Henzell R.G. (2012). *The relationship between the stay green trait and grain yield in elite sorghum hybrids grown in range of environments.* Crop Science 52:1153-1161.
- Jordan W.R. & Sullivan C.Y. (1982). *Reaction and resistance of grain sorghum to heat and drought.* En: Sorghum in the eighties: proceedings of the International Symposium on Sorghum, ICRISAT. pp 131–412.
- Kamala V., Sharma H.C., Manohar Rao D., Varaprasad K.S. & Bramel P.J. (2008). *Wild relatives of sorghum as sources of resistance to sorghum shoot fly, Atherigona soccata.* Plant Breeding 128:137–142.
- Kebede H., Subudhi P.K., Rosenow D.T. & Nguyen H.T. (2001). *Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (Sorghum bicolor L. Moench).* Theoretical and Applied Genetics 103, 266–276.
- Khizzah B.W., Miller F.R. & Newton R.J. (1993). *Inheritance and heritability of heat tolerance in several sorghum cultivars during the reproductive phase.* African Crop Science Journal 1:81–85.
- Klein P.E., Klein R.R. & Cartinhour S.W. (2000). *A high throughput AFLP-based method for constructing integrated genetic and physical maps: progress toward a sorghum genome map.* Genome Research 10, 789–807.
- Lin Y., Keith F. & Paterson A.H. (1995). *Comparative analysis of QTLs affecting plant height and maturity across the poaceae in reference to an interspecific sorghum population.* Genetics 141:391-411.

- Ma J.F., Ryan P.R. & Delhaize E. (2001). *Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids*. Trends in Plant Science 6:273–278.
- Major D.J., Rood S.B. & Miller F.R. (1990). *Temperature and photoperiod effects mediated by the sorghum maturity genes*. Crop Science 30:305-310.
- Maqbool S.B., Devi P. & Sticklen M.B. (2001). *Biotechnology: advances for the improvement of sorghum (Sorghum bicolor) L. Moench.* - In Vitro cell. Developmental Biology 37:504-515.
- Miller F.R., Barnes D.K. & Cruzado H.J. (1968). *Effect of tropical photoperiods on the growth of Sorghum bicolor (L.) Moench. when grown in 12 monthly plantings*. Crop Science 8:499– 502.
- Miller F.R. & Kebede Y. (1984). *Genetic Contributions to Yield Gains in Sorghum, 1950 to 1980*. En: Genetic Contributions to Yield Gains of Five Major Crop Plants. W. R. Fehr (Ed) CSSA Special Publication 7, Crop Science Society of America and American Society of Agronomy. pp 1-14.
- Mullet J.E., Klein R.R. & Klein P.E. (2001). *Sorghum bicolor: an important species for comparative grass genomics and a source of beneficial genes for agriculture*. Plant Biology 5:118-121.
- Murty D.S. & House L.R. (1984). *Components of generation means for resistance to grain mold causing fungi Curvularia and Fusarium in sorghum*. Cereal Research Communications 12:237–244.
- Nagy Z.Z., Tuba F., Soldos Z. & Erdei L. (1995). *CO₂-Exchange and Water Relation Responses of Sorghum and Maize during Water and Salt Stress*. Journal of Plant Physiology 145: 539-544.
- Paterson A.H., Bowers J. E. & Bruggmann R. (2009). *The Sorghum bicolor Genome and the Diversification of Grasses*. Nature 457:551-556.
- Price H.J., Dillon S.L., Hodnett G., Rooney W.L., Ross L. & Johnston J.S. (2005). *Genome evolution in the genus Sorghum (Poaceae)*. Annals of Botany 95: 219-227.
- Quimby J.R. (1967). *The maturity genes of sorghum*. Advances in Agronomy 19:267-305.
- Quimby J.R. & Karper R.E. (1954). *Inheritance of height in sorghum*. Agronomic Journal 46: 211-216.
- Quinby J.R. (1973). *The genetic control of flowering and growth in sorghum*. Advances in Agronomy 25:125-162.
- Rakshit S., Hariprasanna k., Gomashe S., Ganapathy K.N., Das I.K., Ramana O.V., Dhandapani A. & Patil J.V. (2014). *Changes in Area, Yield Gains, and Yield Stability of Sorghum in Major SorghumProducing Countries 1970 to 2009*. Crop Science 54:1571–1584.
- Reddy B.V.S., Ashok Kumar A., Sharma H.C., Srinivasa Rao P., Blümmel M., Ravinder Reddy C.h., Sharma R., Deshpande S., DattaMazumdar S. & Dinakaran E. (2012). *Sorghum improvement (1980–2010): Status and way forward*. Journal of SAT Agricultural Research 10:1-14.
- Reddy B.V.S., Ramesh S., Reddy P.S. & Kumar A.A. (2009). *Genetic Enhancement for Drought Tolerance in Sorghum*. Plant Breeding Reviews 31:189-222.
- Rooney W.L. (2004). *Sorghum improvement integrating traditional and new technology to produce improved genotypes*. Advances in Agronomy 83:38–110.

- Rooney W.L. & Aydin S. Genetic Control of a Photoperiod-Sensitive Response in Sorghum bicolor (L.) Moench. *Crop Science* 39:397-400.
- Rosenow D.T., Quisenberry J.E., Wendt C.W. & Clark L.E. (1983). *Drought tolerant sorghum and cotton germplasm*. *Agricultural Water Management* 7:207–222.
- Sanchez A.C., Subudhi P.K., Rosenow D.T. & Nguyen H.T. (2002). Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Plant Molecular Biology* 48: 713-726.
- Sharma H.C., Taneja S.L., Leuschner K. & Nwanze K.F. (1992). *Techniques to screen sorghums for resistance to insects*. Information Bulletin n° 32. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. pp 48.
- Singh S.D. & Bandyopadhyay R. (2000). *Grain mold*. En: Compendium of sorghum diseases. Frederiksen y G.N. Odvody (Eds). 2da edition St. Paul, MN, USA: The American Psychopathological Society pp 38–40.
- Stephens J.C. & Holland R.F. (1954). *Cytoplasmic male sterility for sorghum seed production*. *Agronomy Journal* 46:20-23.
- Tao Y.Z., Hardy A., Drenth J., Henzell R.G., Franzmann B.A., Jordan D.R., Butler D.G. & McIntyre C.L. (2003). *Identifications of two different mechanisms for sorghum midge resistance through QTL mapping*. *Theoretical and Applied Genetics* 107:116–122.
- Thakur R.P., Reddy B.V.S. & Mathur K. (2007). *Screening techniques for sorghum diseases*. Information Bulletin No. 76. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 92 pp.
- Thomas G.L. & Miller F.R. (1979). *Base temperature for germination of temperate and tropically adapted sorghum*. En: Proceedings of Biennial Grain Sorghum Research and Utilization. Grain Sorghum Producers Association. pp 24.
- Tuinstra M.R., Ejeta G. & Goldsbrough P. (1998). *Evaluation of near isogenic sorghum lines contrasting for QTL markers associated with drought tolerance*. *Crop Science* 38, 835–842.
- Vadez V., Deshpande S.P., Kholova J., Hammer G.L., Borrell A.K., Talwar H.S. & Hash C.T. 2011. Stay green QTL effects on water extraction and transpiration efficiency in a lysimetric system: Influence of genetic background. *Functional Plant Biology* 38:553–566.
- Woodfin C.A., Rosenow D.T. & Clark L.E. (1998). *Association between the stay-green trait and lodging resistance in sorghum*. En: *Agronomy abstracts*. Madison, WI: ASA, pp 102.
- Wu Y. & Huang Y. 2008. Molecular mapping of QTLs for resistance to the green bug *Schizaphis graminum* (Rondani) in *Sorghum bicolor* (Moench). *Theoretical and Applied Genetics* 117:117-124.
- Xu W., Subudhi P.K., Crasta O.R., Rosenow D.T., Mullet J.E. & Nguyen H.T. (2000). *Molecular mapping of QTLs conferring staygreen in grain sorghum (Sorghum bicolor L. Moench)*. *Genome* 43, 461–469.

CAPÍTULO 21

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

Alfonso Vidal

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) ha sido durante siglos el alimento que sustentó a vastos sectores de la humanidad. Su cultivo que data de unos 10.000 años, fue llevado por el hombre en su conquista de nuevos territorios y en ese periplo fue adaptándose a distintos ecosistemas, dietas alimenticias y platos regionales; hoy gracias a esa adaptación alimenta a más de la mitad de la población mundial y se estima que las necesidades para el futuro crecerán en alrededor de un 3 % anual. Esta expansión se sustenta, por un lado, sobre la base de una expansión demográfica de las regiones en las que el arroz es base de la alimentación, por el otro sobre cambios en los hábitos alimenticios en los pueblos a medida que producen su desarrollo económico y pueden incorporar alimentos de mayor calidad (Lu, 1990)

Su cultivo tiene tantas formas que admite modalidades que van desde el cultivo en seco más primitivo hasta el transplante. Su cultivo tiene tantas variantes tecnológicas que incluye desde la siembra directa a la aérea con el terreno inundado. También tiene una amplia adaptación a diversas condiciones ecológicas, desde el paralelo de 45° de latitud norte hasta los 32° de latitud sur y desde las tierras bajas con el aprovechamiento del desborde de ríos en las zonas monzónicas de Asia, hasta los cultivos en terrazas a 1500 metros, en las laderas montañosas de los montes Himalaya. Esta somera descripción pone en claro la versatilidad de su cultivo y la adaptación del arroz a diversos ecosistemas productivos.

Actualmente la producción mundial equipara a la de trigo o maíz con alrededor de 640 millones de toneladas sobre unas 154 millones de hectáreas, conformando la trilogía, junto a ellos, de los alimentos básicos más importantes de la actualidad (Lyddon, 2014). Puede afirmarse sin lugar a dudas que el arroz ha significado y significa para Asia lo que el maíz para América o el trigo para Europa, es decir el sustento energético para los distintos pueblos de esos continentes.

Su cultivo tiene la particularidad de que más del 90 % de la producción se encuentra en Asia (Tabla 21.1) en donde el 60% de la población depende de él como elemento principal de la alimentación. Se lo considera como la principal fuente de energía para el ser

humano en los trópicos húmedos y subhúmedos. Otra característica de este cereal es que solo el 6% del volumen total confluye al mercado internacional, aunque éste ha crecido un 66% a partir de la década de los noventa. Además los grandes productores tienen escasa presencia en el mercado internacional (Tabla 21.1), por lo que es fácil deducir que la producción no sale de las pequeñas fincas productivas de Asia, y que es el sustento básico de los pueblos del sudeste asiático que lo cultivan para el autoconsumo familiar y usan sus exiguos excedentes como moneda de intercambio con otros productos primarios. (Chang, 1976a, 1976b). Por otra parte este cereal tiene otra característica distintiva con respecto al resto de sus parientes, y es que es el único que se comercializa como grano entero, de manera que cualquier factor que altere este parámetro tiene decisiva incidencia sobre la economía del sistema.

En Argentina, su cultivo es poco representativo dado que con una superficie de 242.000 ha y aproximadamente 1.500.000 de toneladas solo participa con el 0.15% del total mundial. Esto tiene su origen en varios aspectos entre los que pueden mencionarse el bajo consumo “*per capita*” y la escasa presencia en los mercados internacionales. A pesar de esta característica que restringe su desarrollo, el 90% de los productores emplea fertilizantes químicos y el 97% emplea herbicidas llevando a más del 75% la superficie total destinada al cultivo que emplean ambos insumos, por lo que la explotación puede ser considerada como mediana a altamente tecnificada.

Tabla 21. 1: Principales países productores y exportadores. Fuente: U.S. departamento de agricultura, USDA (2010)

Países	Superficie (miles de ha)	Producción (miles de t)	Exportación (miles de t)
China	28.500	181.515	2.394
India	44.500	131.900	3.724
Indonesia	11.700	49.400	-----
Bangladesh	10.000	35.000	-----
Vietnam	7.000	31.000	3.724
Tailandia	10.500	24.140	7.182
Argentina	242	1.500	600
Otros	41.100	133.400	2.926
Total mundial	153.500	6.396.800	25.300

Origen y sistemática

Hasta el presente se incluyen 24 especies dentro del género *Oryza*. De estas, las asiáticas perennes conocidas como *O. ruffipogon* y *O. nivara* (anual) son los progenitores de la especie cultivada ***O. sativa* L.**, mientras que las africanas perennes (*O. barthii* y anual

(*O.brevigulata*) son los progenitores directos de la especie cultivada ***O. glaberrima*** **Steud**, cultivada básicamente en el oeste de África. (Acevedo *et al.*, 2006).

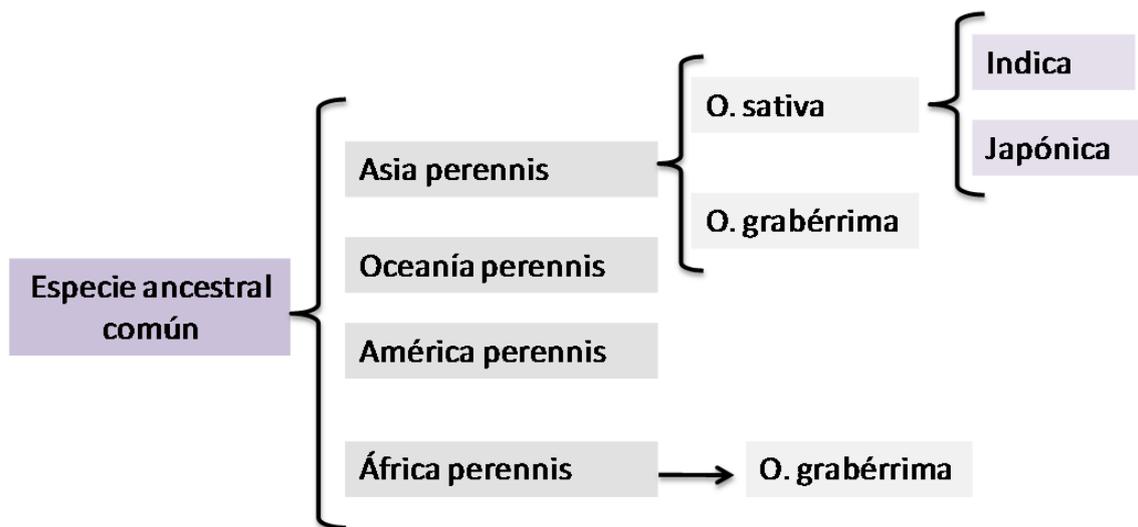
Existen dos hipótesis que sustentan el origen de las especies cultivadas de arroz:

- a) Chang (1976), propone que las 24 especies del género *Oryza* son originarias del Continente "Gondwanaland" y que la especie ancestral de *O. sativa* puede ser *O. nivara* (*Asia perennis*), del sur y sureste de Asia. En cuanto a *O. glaberrima*, puede ser África *perennis* vía *O. brevigulata* del África tropical. Las especies *Asia*, *América*, *África* y *Oceanía perennis* fueron originadas desde un ancestro común en el Continente Gondwana. Trabajos recientes basados en estudios fenotípicos y moleculares indican esta teoría como la de mayor asidero (Morishima *et al.*, 1992)
- b) Watanabe (1997), propone que *Asia perennis* es el ancestro de *O. sativa* por la gran cantidad de formas perennes, anuales e intermedias halladas en la India.

Entonces se deduce de estos estudios que existen dos patrones evolutivos de origen y domesticación del arroz cultivado, uno en Asia para la especie *O. sativa* y otro en África para *O. glaberrima*. Los recientes trabajos están enfocados en la determinación de la relación entre los diferentes genomas usando alopoliploides obtenidos artificialmente. Se sabe que el genoma A está presente en las especies cultivadas y en sus parentales más próximos. El genoma C está presente en las especies que tienen principalmente fecundación cruzada y se conoce que los genomas B, C y D presentan alguna afinidad entre ellos. Morishima (1984) indicó que las especies cultivadas *O. sativa* y *O. glaberrima*, así como sus parentales silvestres más próximos, perennes (incluyendo *O. rufipogon* y *O. barthii*) y anual (*O. nivara* y *O. brevigulata*) formaron un grupo que posee el genoma A en común (Tateoka, 1964).

De los aproximadamente 16 géneros de la tribu de las *Oriceas* solo uno, *Oryza* tiene valor económico, y dentro de él solo dos especies tienen importancia excluyente como grano alimenticio para el ser humano, estas han sido la asiática ***sativa*** (n=12), ampliamente difundida en las diversas latitudes y condiciones ambientales y la "africana" ***glaberrima*** (n=12) que está mucho menos difundida y confinada a los márgenes del río Níger en el centro oeste de África. Sin embargo, en los últimos años han cobrado importancia desde el punto de vista alimenticio otros géneros emparentados con el arroz como ***Zizania*** (n=15), etc., más por una cuestión de moda que valor alimenticio (Chatterjee, 1951)

Los objetivos tradicionales del mejoramiento del arroz se han basado fundamentalmente en el incremento de la productividad y la resistencia a las principales adversidades, con una importancia secundaria de los aspectos de calidad. En cierta medida, si nos basamos en la estadística, esto se ha logrado, ya que mientras la superficie cultivada creció solo el 36% en los últimos cuarenta años la producción se incrementó el 273% en ese lapso, una prueba del éxito de la mejora genética, aunque es dable reconocer que esto ha sido insuficiente para erradicar el hambre del mundo.



Esquema del origen filogenético del arroz cultivado

La especie *O. sativa* presenta la mayor diversidad genética encontrándose hasta tres subespecies, las cuales son clasificadas en base a su ecología y morfología en: Indica, Japónica y Javánica, mientras que en *O. glabérrima* esta tendencia no fue encontrada. La subespecie Indica está distribuida en los trópicos y subtropicos, la Javánica en Indonesia, mientras que la Japónica está distribuida en zonas templadas.

Morfología

El arroz es una gramínea anual, con tallos redondos y huecos compuesto de nudos y entrenudos huecos, hojas de lámina plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es en panoja. El tamaño de la planta varía de 0,4m (variedades enanas) hasta más de 0,7m (flotantes). (Gonzalez, 1982)

Los órganos de la planta de arroz se clasifican en:

- Órganos vegetativos: raíces, tallos y hojas.
- Órganos reproductores: flores y semillas.

Hojas

Las hojas de la planta de arroz se encuentran distribuidas alternativamente a lo largo del tallo. La primera hoja que aparece en la base del vástago principal o de los macollos se denomina prófilo (Fig. 21.1), no tiene lámina y está constituido por dos brácteas aquilladas. En cada nudo se desarrolla una hoja, la superior que se encuentra debajo de la panícula, es la hoja bandera. Es una hoja completa y se distinguen tres partes: la vaina, el cuello y la lámina. Vaina: su base se encuentra en el nudo y envuelve al entrenudo superior, en algunos casos hasta el nudo (Fig. 21.1) siguiente. La vaina,

dividida desde su base, esta finamente surcada, es generalmente glabra y puede tener pigmentos antocianicos en la base o en toda la superficie.

Cuello: en él se encuentran la lígula y las aurículas. La lígula es una estructura triangular apergamada o membranosa que se encuentra en la base del cuello, contigua a la vaina y que difiere en tamaño, color, y forma según la variedad de arroz. (González, 1982). Las aurículas son dos apéndices que se encuentran en el cuello, tienen forma de hoz, con pequeños dientes en parte convexa. Las hojas de la planta de arroz tienen lígula y aurículas, mientras que malezas comunes en los arrozales, como *Echinochloa* spp, carecen de ellas, facilitando su identificación en estados juveniles. La lámina es de tipo lineal, punta aguda, larga y más o menos angosta, según las variedades. La cara superior tiene nervaduras paralelas. La nervadura más prominente en el envés de la hoja es la central y sobre ella, en algunos casos, se enrolla. La lámina foliar es de color verde pálido, verde, verde oscuro, con márgenes púrpura, manchas púrpura o completamente púrpura. La lámina de la hoja bandera es más corta y ancha que las demás, forma diferente ángulo con el tallo: erecto, intermedio, horizontal o descendente. En el tallo principal se desarrollan mayor número de hojas que en los primarios y secundarios. El número total de hojas varía mucho entre cultivares (9 a 23 en el tallo principal). En época de floración tres o cuatro hojas verdes son las responsables de la fotosíntesis del 80% de los carbohidratos que van al grano después de la floración

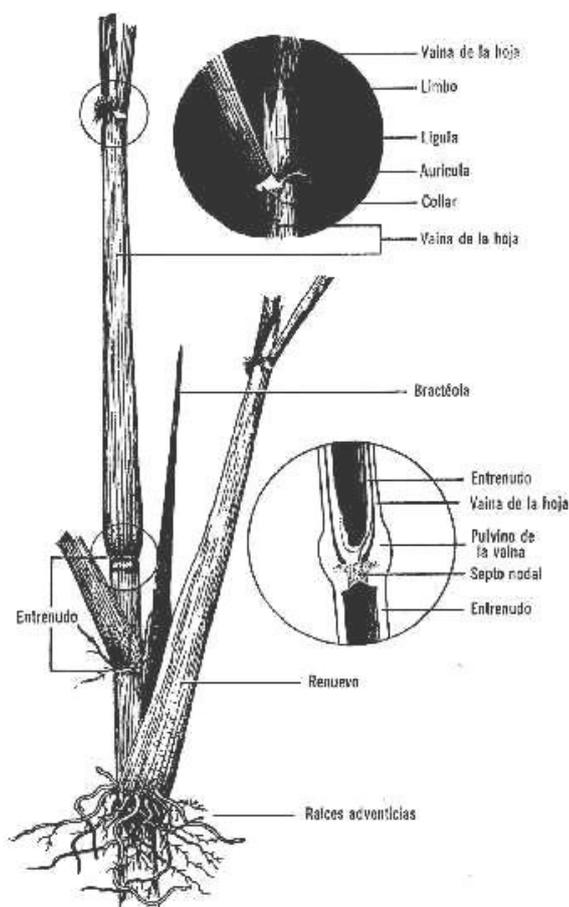


Figura 21.1. Estructura de la planta de arroz. Fuente: González (1982)

Tallo

Se compone de nudos y entrenudos, en orden alterno (Fig. 21.1). En el nudo se forman una hoja y una yema. Cada nudo lleva una hoja y una yema que pueden desarrollarse para constituir un vástago o macollo. El entrenudo maduro es hueco y finamente estriado. Tiene longitud variable, generalmente más largos los entrenudos basales y se van acortando en los más altos. Los entrenudos más bajos, en la base del tallo, son cortos y se van haciendo gruesos hasta formar una sección sólida, esta característica junto con el número de entrenudos determina la altura de la planta (Vergara, 1976.) Varían también en cuanto al grosor, los más bajos tienen mayor diámetro y espesor que los superiores. Los macollos se desarrollan a partir del tallo principal en orden alterno. Los primarios se desarrollan en los nudos más bajos, produciendo secundarios, a su vez, éstos producen los terciarios (Fig. 21.2). El número de macollos por planta es una característica varietal modificada por el sistema de cultivo y el ambiente; en condiciones de baja densidad se ajusta a una curva, la cual declina después del máximo macollamiento por la mortandad de algunos.

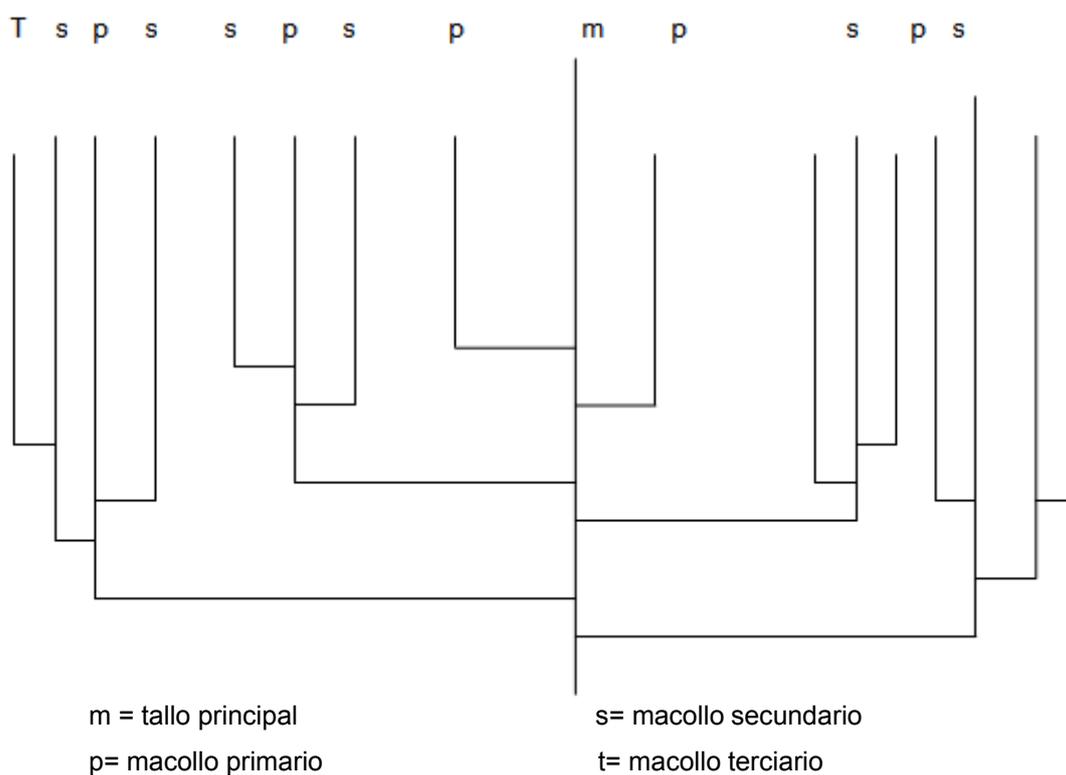


Figura 21.2. Modelo de macollamiento de una planta de arroz

Raíces

La planta de arroz tiene un sistema radical fibroso. Hay dos tipos de raíces:

- Las **raíces seminales o temporales**, que se originan de la radícula y son de naturaleza temporal.
- Las **raíces adventicias secundarias** (Fig. 21.1), que muestran una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Estas raíces sustituyen a las raíces seminales.

Las primeras están constituidas por cuatro raíces preformadas poco ramificadas con funcionalidad hasta la aparición de la cuarta hoja. Las raíces adventicias surgen a partir de los nudos no desarrollados de la zona de la corona y tienen un rol importante en la adaptación de la planta a condiciones de anaerobiosis. Su crecimiento y desarrollo son características varietales, afectadas por el medio de cultivo y niveles de fertilidad. (CIAT, 1980). En los primeros estadios de crecimiento las raíces son blancas, poco ramificadas y relativamente gruesas; a medida que la planta crece se alargan, adelgazan y se vuelven flácidas, ramificándose abundantemente. En variedades de arroz flotantes se forman raíces adventicias en los nudos y superiores cubiertos por el agua (Vergara, 1990). En suelos inundados la superficie exterior de las raíces activas se oxida, caracterizándose por el color amarillo rojizo, debido a la precipitación de compuestos férricos; en condiciones de aerobiosis mantienen su color blanco. (Yoshida, *et al.*, 1982)

Inflorescencia

La panoja está constituida por un eje central y ramificaciones primarias, secundarias sobre las cuales se asientan las espiguillas. La longitud de estas ramificaciones dará la mayor o menor compacidad de la panoja, además es una diferencia sustancial respecto a *O. glaberrima* quien no posee ramificaciones secundarias en su panoja (González, 1982). El nudo situado entre el entrenudo superior del tallo y el eje principal de la panoja es la base de la panoja. Esta última aparece con frecuencia como un anillo ciliado y se utiliza para medir la longitud del tallo y la de la panoja. Las diversas variedades tienen diferencias considerables en cuanto a longitud, forma y ángulo de implantación de ramificaciones primarias, así como también en cuanto al peso y densidad de la panoja.

Espiguillas

La inflorescencia comienza a formarse unos treinta días antes del panojamiento, y siete días después de comenzar su formación ya alcanza unos 2 mm. La espiguilla está formada por dos "glumas externas" (lemas estériles) de longitud variable, y todas las demás partes florales se encuentran entre ellas o por encima de ellas. Crecen sobre el pedicelo, que las conectan con la ramificación de la panoja. Todas las partes de la espiguilla que se encuentran por encima de las "glumas externas" se denominan colectivamente flósculo. Este último consiste en la cubierta dura que se convierte en lemma y pálea (las "glumelas") y la flor completa que

se encuentra entre ellas. La lemma puede ser mítica, mucronada, semiaristada o aristada, siendo este un carácter varietal modificado por el ambiente. La flor consta de seis estambres y un pistilo. Los estambres se componen de anteras bicelulares, nacidas sobre filamentos delgados, mientras que el pistilo consiste en el ovario, el estilo y un estigma bífido y plumoso. En la base de la flor se encuentran dos estructuras transparentes que se conocen como lodículas quienes cumplen la función de apertura y cierre de la flor (Fig. 21.3).

La flor es hermafrodita y el porcentaje de fecundación cruzada en condiciones normales llega hasta el 1%. La duración entre la apertura de la primera y última flor de una panoja varía entre 5 y 9 días y de todas las panojas puede durar hasta 3 semanas, dependiendo del macollaje y las condiciones ambientales. A partir de 15 días antes del panojamiento se desarrolla rápidamente, y es éste el período más sensible a las condiciones ambientales adversas. La floración tiene lugar el mismo día de la emergencia, o al día siguiente durante las últimas horas de la mañana. Las flores abren sus glumelas durante una o dos horas si el tiempo es soleado y las temperaturas altas. Un tiempo lluvioso y con temperaturas bajas perjudica la polinización. La temperatura mínima para florecer se considera de 15°C, la óptima de 30°C.

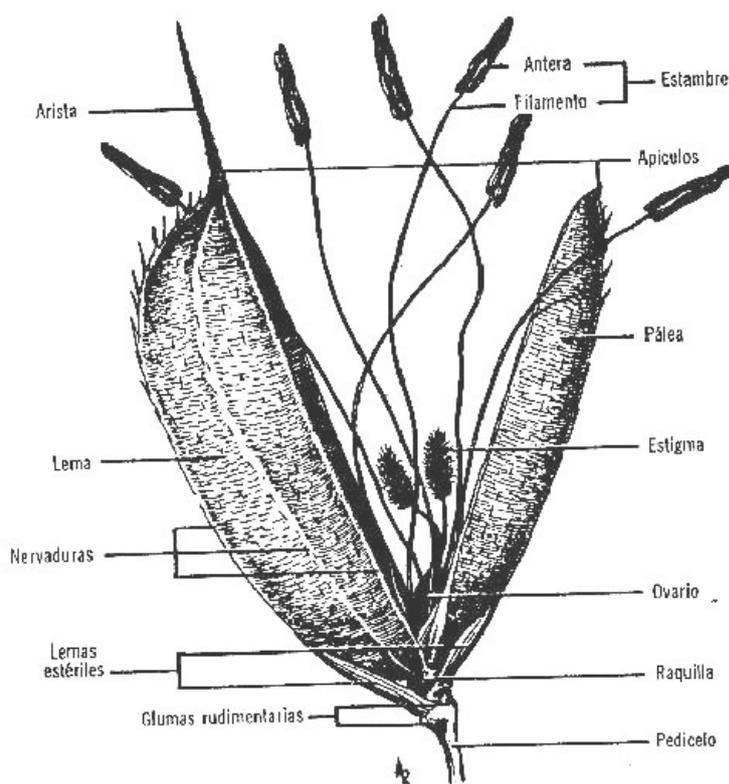


Figura 21.3. Estructura de la espiguilla de arroz

Grano

El grano de arroz es un cariopse (fruto seco indehiscente) en el cual la semilla está fusionada con la pared desarrollada del ovario (pericarpio). El cariopse libre de sus

envolturas externas (glumelas) es llamado arroz cargo, integral o moreno por su pericarpio oscuro, aunque puede haber formas con su pericarpio o tegumentos con una fuerte presencia de pigmentos antociánicos que le conferirán un color rojo intenso. La superficie del cariopse tiene acanaladuras correspondientes con la lemma y palea. Este cariopse varía en los cultivares en tamaño y forma, determinando tipos comerciales que a su vez definen los precios. Conocer las partes constitutivas del grano así como su composición y representatividad cobran relevancia desde el punto de vista económico, industrial y nutricional, habida cuenta que en su elaboración convencional frecuentemente se eliminan algunas capas del mismo, lo que provoca, por un lado la pérdida en peso en la mercadería procesada lo que produce un efecto económico, y por otro una merma sustancial de su valor nutricional, dado que algunos principios alimenticios fundamentales (sales minerales, vitaminas y lípidos), se encuentran en mayor concentración en las capas del grano extraídas. El grano de arroz tiene la siguiente composición promedio:

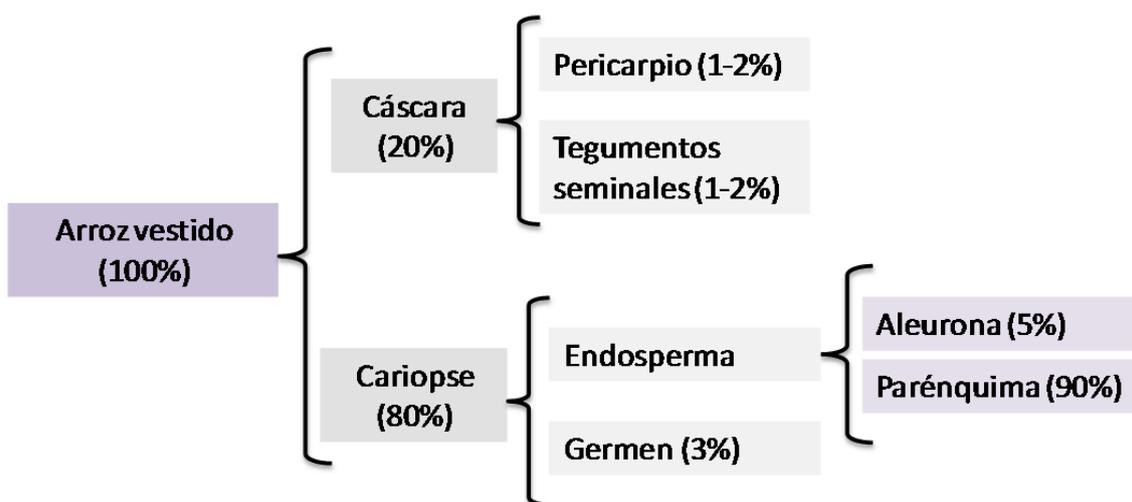


Figura 21.4. Proporción aproximada de las fracciones del grano

El esquema del grano se ilustra en la Figura 21.5 donde pueden apreciarse las distintas capas que constituyen el fruto de la planta de arroz. El **embrión** o germen es extremadamente pequeño de forma lenticular y se localiza en el vientre del grano en la zona opuesta al ápice de la lemma. En él se preforman las hojas embrionarias (plúmula) y las raíces seminales (radícula). Las células epiteliales del escutelo están llenas de gránulos de proteína y glóbulos de grasa. Este escutelo sirve de nexo para las sustancias orgánicas y nutrientes desde el endosperma hacia el embrión durante el proceso germinativo (CIAT, 1978). El **parénquima amiloproteico** consiste en células radiales elongadas cargadas con gránulos de almidón y algunos cuerpos proteicos. Generalmente la dimensión radial de esas células es más pequeña en los cultivares de grano largo fino que en los de grano medio o corto. Esta constitución puede variar según factores genéticos y las condiciones ambientales y culturales. Esta parte del grano de arroz es de suma importancia y las consecuencias que sobre él pudieran ocasionar los factores ambientales y culturales pueden provocar

modificaciones con profunda incidencia en el resultado económico del cultivo. El grano entero pulido del arroz, es la forma que más se consume en Argentina y está constituido esencialmente por 92% de hidratos de carbono (fundamentalmente almidón) y el resto proteína. Desde este punto de vista es un alimento altamente energético con un bajo nivel de proteínas aunque de excelente calidad.

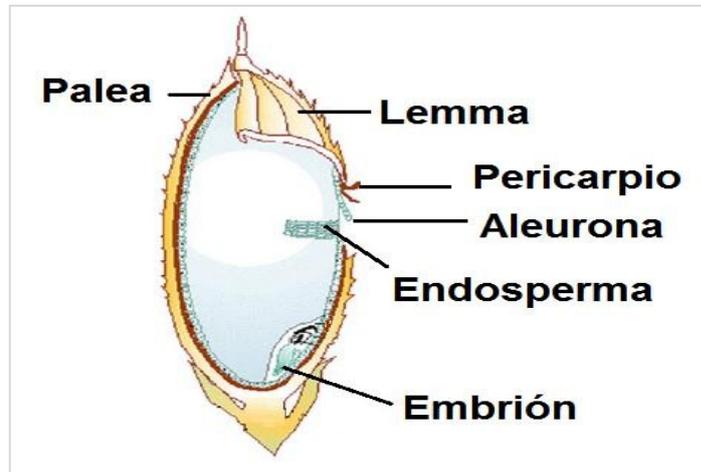


Figura 21.5. Esquema del cariopse de arroz

Bibliografía

- Acevedo M.A., Willian A., Castrillo & Belmonte U.C. (2006) *Origen, evolución y diversidad del arroz. Agricultura Tropical*. 56: páginas
- Chang T.T. (1976a). *Rice (Oryza sativa and Oryza glaberrima)*. In Evolution of Crop Plants. N.W. Simmonds (Editor). Longmann, London.
- Chang T.T. (1976b). *The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rices*. Euphytica 25: 425-441.
- Chatterjee D. (1951). *Note on the origin and distribution of wild and cultivated rice*. Indian Journal of Genetics 11:18-22.
- CIAT (1978). *Morfología de la planta de arroz; guía de estudio, Cali, Colombia*. 28pp.
- CIAT. (1980). *Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz: guía de estudio, Cali, Colombia*. 28 pp.
- Gonzalez H. (1982). *Origen y morfología de la planta de arroz*. En Curso de adiestramiento en producción de arroz. Centro de investigación y promoción agropecuaria. Seg. Edición Estación Experimental Vista Florida. Chiclayo. Perú. pp 1-34.
- Lyddon C. (2015) *Rice: Markets under pressure amid big stocks, slow demand*. In World Grain the international business Magazine for grain, flour and feed. pp 22.
- Lu J.J & Chang T.T. (1990) *Rice in its temporal and Spatial Perspectives*. In Rice production and Utilization. Avi Publishing com, Wesport, Connecticut.

- Morishima H. (1984). *Wild plants and domestication*, In: Biology of rice. S. Tsunoda & N. Takahashi, eds. Elsevier, Amsterdam 7: 3-30.
- Tateoka T. (1964). *Taxonomic studies of genus Oryza*. In Rice Genetics and Cytogenetic. Elsevier, Amsterdam. The International Rice Research Institute (IRRI) Manila Philippines. pp 16-18.
- Vergara B.S. (1976) *Culture of floating rice*. In Proceeding of the Sixteenth Rice Technical Working Group. Texas A & Univ. Press, College Station, Texas. pp 166-170.
- Vergara B.S. (1990) *Rice Plant growth and development*. In Rice Production & Utilization. Avi Publishing com, Westport, Connecticut. pp 75-86.
- Watanabe Y. (1997). *Genomic constitution of genus Oryza*. In: T. Matsuo, Y. Futsuhara F. Kikuchi & H. Yamaguchi eds. Science of the rice plant. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo. pp. 206-210.
- Yoshida S., Bhattacharjee D.P & Cabuslay G.S. (1982). *Relationship between plant type and root growth in rice*. Soil Science Plant Nutrition 28:473-482.

CAPÍTULO 22

Arroz: Crecimiento y desarrollo

Alfonso Vidal

El arroz se cultiva en una diversidad de condiciones ambientales. Algunos autores sostienen que es un cultivo especial para zonas húmedas del trópico o para climas con altas temperaturas. Otros consideran que el arroz prospera en un amplio rango de condiciones, que van desde los 45° de latitud norte a 40° al sur de Ecuador.

Las diferentes consideraciones en el análisis de los factores que regulan el crecimiento de la planta de arroz, ha hecho que muchos investigadores estudien las limitantes relacionadas con el desarrollo y adaptabilidad del cultivo al medio ambiente. El punto de vista con el cual coincide la mayoría de ellos, es que una temperatura alta y abundante radiación solar son necesarias para el arroz, sin embargo un concepto universal es que una alta disponibilidad de agua es el requisito mas critico en su producción.

El crecimiento de la planta de arroz se puede dividir en tres etapas. En ellas se definen los tres componentes del rendimiento:

- Nº de panojas por ha. ($\text{N}^\circ \text{ de plantas} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{N}^\circ \text{ de panojas} \cdot \text{planta}^{-1}$).
- Nº de granos por panoja.
- peso de mil granos.

Cualquier factor varietal, climático, cultural que afecte cada una de las etapas del ciclo del cultivo influirá sobre los rendimientos. El factor climático que mayor incidencia tiene sobre el ciclo de la planta, es la temperatura. Para cada etapa se requieren una determinada cantidad de unidades de calor acumuladas denominadas, unidades térmicas (UT). Se han determinado la cantidad de UT necesarias por cada variedad para llegar a las distintas etapas de su ciclo. Si bien el sistema no tiene en cuenta otros factores que influyen en la duración (fotoperíodo), este ha tenido un error como máximo de dos días.

Analizaremos las interrelaciones entre las etapas de crecimiento y los factores que influyen en la manifestación de las mismas y por ende afectan los rendimientos.

Las etapas del crecimiento del cultivo son tres;

- Etapa vegetativa.
- Etapa reproductiva.
- Etapa de llenado y madurez del grano.

La primera etapa (vegetativa), abarca desde la germinación hasta la iniciación del primordio floral, comprendiendo la emergencia, estado de plántula y el macollaje.

Emergencia (5-20 días)

La germinación de la semilla, reconocidos como estadíos S0 a S3 (Tabla 22.1) que involucran desde semilla no embebida a emergencia del prófalo y el coleóptilo. Cuando hay condiciones de temperatura y humedad la semilla se hincha y germina. En el embrión crecen dos estructuras, coleóptilo y coleorriza, a medida que crecen rompen la cubierta, en ese momento se considera la germinación. Si las semillas germinan en agua el coleóptilo, que contiene las hojas embrionarias, emerge antes que la coleorriza. Cuando las semillas germinan en un ambiente aireado, como el de los suelos con buen drenaje, surge primero la coleorriza. Luego la radícula rompe la coleorriza poco después de que esta aparece; I a siguen dos o más raíces seminales, las cuales desarrollan raíces laterales. Las raíces seminales posteriormente mueren y son reemplazadas por las raíces adventicias. El coleóptilo emerge como una estructura cilíndrica, y al romperse por el ápice sale la hoja primaria y posteriormente la secundaria. El mesocótilo se alarga cuando las semillas germinan en el suelo a demasiada profundidad y eleva el coleóptilo sobre la superficie del suelo. Si el 50% de la parcela, tiene la primera hoja en superficie y esta se torna color verde, entonces se considera la emergencia del cultivo.

Si bien es fundamental la fecha de siembra, la fecha de emergencia es más trascendente, pues de ellas dependen las futuras etapas del cultivo.

Luego de la germinación la semilla entra en una lucha por sobrevivir, las reservas del endosperma se usan hasta el estado de 3º hoja, (estado de plántula), la cual tiene una duración de 14 a 20 días.

Varios son los factores que afectan la germinación, emergencia y desarrollo de la plántula:

Factores climáticos

- **Temperatura:** es el factor más importante. Temperaturas de 18-25 °C son las más favorables para germinación y emergencia. En la medida que la disponibilidad térmica sea inferior se producirá una emergencia más lenta y despereja con posteriores inconvenientes para el manejo del cultivo. Temperaturas menores de 10-12 °C reducen la posibilidad de supervivencia de la planta.
- **Humedad:** es tan importante como la temperatura: si hay exceso, se reduce el contenido de oxígeno y el peligro de contaminación por hongos aumenta, reduciendo la germinación, al igual que un déficit de humedad, que no permitiría la absorción por parte de la semilla (siembras tardías). Es muy común en siembras tempranas que el exceso de humedad, junto con las bajas temperaturas afecten la emergencia del cultivo. Si bien, como se mencionó éste factor es de importancia, un defecto en la disponibilidad de humedad puede ser corregido por un riego llamado “baño” ya que el sistema está preparado para esa situación.

- Oxígeno: la semilla necesita oxígeno para la germinación y desarrollo de coleóptilo y radícula, siendo que esta última necesita mayor cantidad para su crecimiento.

Factores culturales

Entre los factores culturales más importantes para lograr una correcta implantación del cultivo podrían destacarse: preparación de la tierra, fecha y densidad de siembra, distribución de la semilla, método de siembra, control de malezas, etc.

Macollaje (25-55 días).

Luego del estado de plántula, y desde la vaina de la primera hoja completa hasta antes del estado de 5ª hoja, emerge el primer macollo, siguiendo los otros primarios. Al mismo tiempo en la planta después de la emergencia de los macollos primarios, comienzan a emerger los macollos secundarios. En esta etapa, denominada de macollaje activo la planta aumenta rápidamente su tamaño y desarrolla vástagos muy activamente. Junto a los vástagos primarios y secundarios comienzan a aparecer los macollos terciarios a medida que la planta continúa su crecimiento. En esta etapa el N° de macollos ha aumentado y es difícil distinguir la caña principal. Posteriormente cuando el ciclo del cultivo avanza, algunos mueren, disminuyen su número, y estabilizándose. Los macollos se desarrollan de la misma forma que el tallo principal, pero siempre tienen menor n° de hojas, menor tamaño y maduran más tarde. El primero y, tal vez, el segundo macollo maduran casi al mismo tiempo que el tallo principal, los demás es probable que no maduren o sean de inferior calidad. Conjuntamente a la formación de estos, se forman hojas nuevas, mientras que las primeras van muriendo, por lo que nunca hay más de 5-6 hojas verdes en la planta al mismo tiempo. Este subperíodo abarca desde V1 (formación del collar de la primera hoja desplegada del vástago principal) a V13 (formación del collar de la hoja bandera del vástago principal) (Tabla 22.1).

Factores que inciden en el macollaje

- Variedad: las plantas aisladas pueden producir entre 8 y 25 macollos o más. En condiciones de campo, la mayoría sólo produce entre 1 y 3 macollos según la densidad, pero la diferencia varietal es muy marcada.
- Cuando más corto es el ciclo menor es la capacidad macolladora, por lo tanto más importante es el stand de plantas iniciales.
- Densidad: la relación entre esta y el macollaje, es inversa. A mayor densidad de plantas, menor macollaje y viceversa.
- Fertilización: tanto el N como el P son importantes para este período. La aplicación temprana de estos nutrientes, así como la aplicación de N. en cobertura en este momento, favorece la producción de macollos. Un exceso de N. puede provocar el alargamiento del período.
- Riego: la inundación muy temprana y láminas profundas, disminuyen el macollaje. Si bien se aconseja comenzar a regar el cultivo en esta etapa, se debe mantener un

nivel de agua de 5-6 cm. de manera que no afecte el macollaje y permita la aplicación de N en cobertura. Esta se puede realizar con suelo seco e incorporar rápidamente el fertilizante con el agua, o en forma tradicional sobre el cultivo inundado con el agua sin movimiento.

- El 1º componente del rendimiento nº de panojas por ha (potenciales), queda definido en esta etapa.
- Como el ápice se encuentra en este subperiodo por debajo de la superficie, la temperatura del agua pasa a tener un efecto preponderante sobre la dinámica del macollaje. Cuando el agua de riego proviene de pozo la temperatura de la misma es muy baja y produce efectos negativos sobre el número de macollos. A su vez el agua puede tener un efecto benéfico atenuando las oscilaciones de la temperatura ambiente.

Etapa reproductiva: abarca desde el inicio del primordio floral hasta antésis. En esta etapa podemos distinguir: inicio del primordio floral (diferenciación), “embarrigado” y el comienzo de floración (R0 a R4) (Tabla 22.1).

Inicio de formación de panículas (R0)

Esta etapa, comienza cuando el primordio de la panícula se ha diferenciado y puede observarse. En una variedad de ciclo corto (70-80 días emergencia-panojamiento), el primordio de la inflorescencia comienza a diferenciarse a los 45-50 días luego de la emergencia. Simultáneamente se correlaciona esta etapa con la máxima producción de macollos. La iniciación visual de la panícula puede observarse aproximadamente 11 días después del inicio de la misma, como, un cono blanco emplumado de 1- 1,5 mm de longitud. El inicio de la formación de la panícula ocurre 1º en el tallo principal y continúa luego en los macollos irregularmente. En variedades de ciclo largo (más de 90 días de emergencia-panojamiento), los 2, 3 entrenudos basales se han alargado considerablemente (1,5 cm), antes del inicio de formación de la panícula y la producción de macollos ya ha comenzado a decaer.

El crecimiento de las raíces se acerca al máximo durante el comienzo de esta etapa.

Desarrollo de la panícula (R1)

Durante esta fase, es posible distinguir las espiguillas y la panícula se extiende hacia arriba, dentro de la vaina de la hoja bandera. La panícula continúa desarrollándose lentamente. Cuando ha crecido hasta alcanzar una longitud de 5 cm (casi 7 días después que puede observarse la panícula en un espécimen seccionado), los primordios de las espiguillas se diferencian en su totalidad y pueden diferenciarse el Nº total de estas últimas.

Factores que inciden en esta etapa

- Radiación solar: esta fase es el comienzo del período en que la luz se torna un factor crítico en el ciclo de la planta. De acuerdo con Stansel (1975), este período se extiende desde la diferenciación de los primordio de la panoja hasta 10 días antes de la madurez fisiológica.

Hay 4 factores que determinan la radiación solar que el cultivo recibe y por ende influyen también sobre la fotosíntesis, ellos son:

- Longitud del día.
- Máxima intensidad de radiación que se puede esperar en un día claro.
- Nubosidad.
- Sombreado entre plantas.

Los dos primeros factores están dados por la ubicación geográfica y época del año, por lo que es muy importante, la fecha en la cual el cultivo entra en período crítico.

Para años normales cuanto más temprano lleguen al estado de primordio floral, hay más posibilidades de que el cultivo pueda captar más luz y temperatura. En nuestras condiciones lo ideal sería que dicha etapa comience en enero, pero esto solo es posible con siembras de principios de octubre.

El patrón de nubosidad indica que es más probable que las condiciones de menor nubosidad se den enero, que en febrero o marzo. Con respecto al sombreado en el cultivo hay una diferencia varietal marcada, ya que las variedades modernas tienen mayor área foliar y hojas más erectas, lo que permite mayor eficiencia en la captación de luz.

- Nitrógeno: la aplicación de N en cobertura en este momento, incrementará el N° de espiguillas por panoja, lo que aumentará el N° de granos potenciales por panoja. Hay una interrelación muy marcada entre N y radiación y el cultivar. Por ej. la variedad Bluebelle (plantas altas, escaso macollaje y panojas grandes) es más afectada en su respuesta al N por baja radiación que el Paso 144 (plantas semienanas, abundante macollaje y menor tamaño de panoja).
- Manejo del agua: el requerimiento de agua también es crítico en esta etapa, por lo tanto es fundamental mantener el cultivo inundado.

Estado de bota (R2-R3)

Esta fase es la última en la etapa de desarrollo de la panícula. Entre 12 y 16 días luego del inicio visual de la misma la vaina de la hoja bandera se hincha. Este hinchamiento se denomina estado de bota o de elongación de entrenudos y vástagos no productivos (no poseen panojas).

Floración (R4)

En esta etapa la panoja emerge a través de la vaina de la hoja bandera y se hace visible. Esto ocurre debido al alargamiento de los entrenudos superiores. La misma en variedades de ciclo corto se alcanza a los 75-80 días luego de la emergencia; en variedades de ciclo intermedio 80-90 días y en variedades de ciclo largo el panojamiento se alcanza luego de los 90-95 días. La floración propiamente dicha es el período en que las flores se abren, son fecundadas y se cierran. Este lapso de tiempo es generalmente de entre 3 y 5 días luego de la emergencia de la panoja de la hoja bandera. Bajo condiciones normales, las flores se abren entre las 9 y 14 hs., cada flor se mantiene abierta de 40 minutos a 2 horas (Gamarra, 1978). Polinización: el arroz es una planta autofecunda, con un pequeño porcentaje de fecundación cruzada de 0 a 4%. La fecundación se lleva a cabo cuando la flor se abre por acción de las lodículas y las anteras que llevan en su interior los granos de polen se abren y los liberan. Este polen cae sobre el estigma y lo fecunda antes que el polen de otra flor pueda llegar. Incluso el arroz muestra una leve tendencia a la cleistogamia (la liberación del polen antes que la apertura de la flor). Las temperaturas y la radiación solar siguen siendo críticas en este período. El N° de granos por panoja, 2° componente del rendimiento, depende del N° de flores producidos y del N° de esas flores que son polinizadas, y quedan definidas al finalizar el período reproductivo.

Etapa de llenado y maduración del grano (R5-R9)

Esta etapa comienza con el 50% de floración y termina cuando la humedad promedio es del 20%. Luego de la fecundación que se completa de acuerdo con Stansel (1975) 30 minutos después de la polinización, se inicia el desarrollo del grano. El ovario se desarrolla y en tres días aparecen granos de almidón en el endosperma. Comienza la diferenciación del embrión, y dentro de ésta el coleóptilo, coleoriza y escutelo. Los carbohidratos son translocados de las hojas y tallos al grano, en este momento la actividad fotosintética de las tres hojas superiores es muy alta y la división celular muy activa. Los hidratos de carbono son bombeados hacia el grano y este presenta una apariencia lechosa al principio, por lo tanto el mismo se encuentra en estado de madurez lechosa.

Luego este va perdiendo humedad, se vuelve pastoso denominándose grano pastoso. El grano que se va desarrollando es comprimido entre la lemma y palea (cáscara) y moldeado a su tamaño final. La pérdida de humedad es gradual y a los 35- 40 días luego de la fecundación se dice que el grano se encuentra maduro.

En este período es fundamental considerar:

- Cantidad de carbohidratos producidos.
- N° de flores que darán grano.

Los granos del extremo superior de la panoja se llenan primero y por lo tanto son grandes y pesados. Debido a esta diferencia en una panoja de arriba hacia abajo, se encuentran granos duros, pastosos y lechosos (importantes para determinar el momento de cosecha). Si la cantidad de azúcares es suficiente todos los granos se llenan y serán pesados. Si por alguna razón el N° de flores por panícula es bajo, puede ocurrir que se llenen todos, pero igual el rendimiento será bajo. Si por el contrario hay más flores que los que pueden ser llenados, entonces, los granos de la base serán más chicos y hay muchos que no se llenen. Esto puede ocurrir por ejemplo si se dan condiciones de baja luminosidad en el llenado, lo que disminuye la fotosíntesis y es baja la producción de hidratos de carbono. Las condiciones de este período determinan el porcentaje de granos llenos y definen el último de los componentes del rendimiento, que es el peso de mil granos.

Factores a tener en cuenta

Durante éste período cobran significativa importancia los factores climáticos y bióticos que puedan influir tanto en la productividad como en la calidad comercial e industrial del grano, alguno de los factores responsables de la calidad están influenciados también por factores culturales.

Entre los rubros importantes se encuentra el rendimiento industrial que es la base de la comercialización del cereal, sobre el mismo, factores como la elección de una adecuada época de siembra, manejo del agua y la cosecha además de las condiciones de temperatura durante el llenado del grano, influyen en el porcentaje final de grano entero y quebrado. Defectos de grano tales como los granos panza blanca o enyesados están más vinculados a las condiciones climáticas como ser las altas temperaturas nocturnas, baja amplitud térmica y alta nubosidad, que a factores culturales. Además en la ocurrencia del grano enyesado pueden concurrir factores genéticos y bióticos (*Pyricularia* spp.). Otros defectos como los granos coloreados y colorados o con estrías rojas dependen más del buen manejo de la producción y cosecha que de las condiciones ambientales.

El arroz, al ser un cereal que funda su valor económico en el grano entero pulido, su blancura es fundamental en la calidad por lo que cualquier factor que la altere como ser fermentaciones, picadura de insectos, oscurecimiento por mal manejo en las operaciones de secado y almacenamiento, son severamente castigadas en el proceso de comercialización tanto interna como internacional.

Tabla 22.1. Ontogenia de una planta de arroz

Estado de desarrollo	Estructura morfológica
S0	
S1	Emergencia de radícula
S2	Emergencia de radícula y coleoptilo
S3	
V1	
V2	Formación de raíces adventicias
V3	
V4	Inicio del macollaje
V5	
V6	
V7	
V8	Fin del macollaje
R0	Diferenciación de la panícula
R1	Diferenciación de las ramificaciones
R2	
R3	Embuchamiento
R4	50% de floración y polinización
R5	Desarrollo Del cariopse
R6	
R7	Grano lechoso
R8	Grano pastoso
R9	Grano cereo

Teniendo en cuenta los estadios de desarrollo más arriba descritos se correlacionarán con los componentes del rendimiento según la Tabla 22.2.

Tabla 22.2. Correlación entre componente del rendimiento y etapas del desarrollo

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	ESTADOS DEL DESARROLLO
N° de panojas.m ⁻²	S0 a R0
N° de granos.panoja ⁻¹	R0 a R4
Peso de 1000 granos	R4 a R9

Teniendo en cuenta los mencionados estados de desarrollo en función del manejo del agua podemos establecer lo que figura en la Tabla 22.3.

Tabla 22.3. Relación entre los estados de desarrollo y el manejo del riego

ESTADOS DEL DESARROLLO	MANEJO DEL AGUA
V3 a V5	Inicio de irrigación definitiva
R2 a R4	Elevación del nivel para aumentar el efecto termorregulador
R6	Suspensión de la irrigación Suelo de difícil drenaje
R7	Suelo con buen drenaje

Efectos de la temperatura, sobre las distintas fases del crecimiento y desarrollo

Stress causado por temperaturas bajas

Dependiendo del estado de desarrollo, la planta de arroz puede sufrir daños cuando la temperatura desciende por debajo de 20°C. Entre los principales efectos a lo largo del ciclo de vida de la planta se han observado: no germinación de la semilla, retraso en emergencia de la plántula, enanismo, amarillamiento de las hojas, floración, alto porcentaje de granos vanos y maduración desuniforme (Yoshida, 1978). Estudios realizados por Sasaki & Wada en 1973, indican que el arroz tiene su mayor susceptibilidad a temperaturas bajas durante el “embuchamiento”, alrededor de 14 a 7 días antes de la salida de la panícula, mientras que la floración le sigue en importancia. Por otro lado Shibata (1970), encontró que cuando la planta de arroz es sometida a temperaturas bajas durante tres días, ésta es más sensible en el estado de floración que en el embuchamiento.

Stress causado por altas temperaturas

Un alto porcentaje de esterilidad se puede presentar cuando la temperatura excede los 35 °C en el estado de antesis y el tiempo de exposición sobrepasa al de una hora. Yoshida (1978) reporta que cuando la planta de arroz es expuesta a temperaturas superiores a 35 °C, los daños causados en la planta dependen del estado de desarrollo de la misma: así, durante la fase vegetativa se pueden observar síntomas tales como: la punta de la hoja blanca, bandas cloróticas, reducción en el macollaje y altura. La fase reproductiva también puede ser afectada mediante la aparición de la panícula blanca, reducción del N° de granos y mayor esterilidad, mientras que en la etapa de maduración se reduce el n° de granos llenos por panícula. El mismo autor concluye que el estado de desarrollo más sensible a temperaturas altas es el de floración, seguido por el “embuchamiento” alrededor de nueve días antes de la salida de la panícula. Una o dos horas de temperatura alta durante la antesis, es definitiva en el porcentaje de esterilidad.

Efecto de la temperatura del aire y el agua sobre el arroz

El cultivo del arroz, cumple parte de su ciclo en condiciones de inundación. Por lo tanto lleva un párrafo aparte la relación de las temperaturas del agua y del aire y su relación con la ubicación de los puntos de crecimiento.

El desarrollo de la planta de arroz, en condiciones de inundación y bajo diferentes niveles de lámina de agua, es afectado directamente por la temperatura. En estas condiciones la mayor dependencia está relacionada con la posición de los puntos de crecimiento respecto a la profundidad del agua. Desde los primeros estados hasta la iniciación de la panícula, las yemas responsables de hojas, macollos y panícula permanecen bajo agua y su desarrollo es afectado por temperatura de la misma. Sin embargo el crecimiento y elongación de la

planta es influenciado por las dos temperaturas, del aire y del agua principalmente porque el ciclo de vida es completado en un ambiente aéreo. A medida que la panícula se desarrolla y sobresale del nivel del agua, la influencia de la temperatura del agua para el crecimiento y madurez de la panícula, disminuye y aumenta la dependencia de la temperatura del aire. Por lo anterior se puede concluir que el efecto de la temperatura del aire y del agua, varían con el estado de crecimiento de la planta. Así de acuerdo con Matsushima 1964 durante los estados iniciales de la planta, la temperatura del agua afecta los rendimientos a través de su influencia sobre el N° de panojas por planta, N° de granos por panojas y el porcentaje de granos maduros, mientras que en los estados más avanzados, la temperatura del aire puede afectar el rendimiento, influenciado el porcentaje de granos llenos y su peso.

Se ha establecido que el efecto de la temperatura del agua es determinado por su magnitud y la profundidad de la lámina aplicada. En la mayoría de los casos, la temperatura del agua es mayor que la del aire y a medida que se aumenta la profundidad de la misma, se hace mayor la dependencia del crecimiento de la panícula de la temperatura del aire. Así cuando la temperatura del aire desciende por debajo del nivel crítico, aumentando la profundidad del agua hasta 15 ó 20 cm. Durante el estado reducción en la división celular, se protegerá la planta contra la esterilidad que puede causar la temperatura baja del aire.

Efectos del fotoperiodo sobre la fase vegetativa del arroz

Fase vegetativa activa o básica

Comprende un período mínimo de crecimiento vegetativo que va desde germinación a diferenciación del primordio floral. La planta de arroz es prácticamente insensible al fotoperiodo. Este periodo oscila entre los 10 y 63 días aunque no se conocen variedades que hayan sobrepasado más de 100 días, variando este con el ciclo de los cultivares.

Fase vegetativa fotosensible o lenta

Comprende el periodo final de la fase vegetativa desde el inicio de la diferenciación del primordio floral. Se trata de un período muy corto y el mismo puede ser inexistente en los cultivares precoces e insensibles al fotoperiodo. En los cultivares de ciclo largo esta fase es más notoria, principalmente en las variedades más sensibles al acortamiento del día. Durante esta fase las plantas aumentan su altura y las hojas crecen más lentamente que en la fase anterior.

Bibliografía

- Gamarra G. (1978). *Desarrollo de la planta de arroz*. En: Arroz: manual de producción. Editorial Hemisferio Sur pp.129-150.
- Grist, D.H. Rice. London. Editorial Longman. 601pp.

- Matsushima S., Tanaka T., Hoshino T. (1964). *Analysis of yield determining process and its application to yield prediction and culture improvement of lowland rice*. LXXI. Combined effect of air temperature and water temperature at different stages of growth on the growth and morphological characteristics of rice plants. *Proceeding Crop Science*. Society Japan. 33:135-140.
- Sasaki K., Wada S. (1973). *Varietal differences in cold tolerance at different stages of panicle development*. In *rice*. Hoku-No (Japón) 40(8):7-14.
- Stansel W. (1975). *Effective utilization of sunlight* In: *Texas Agricultural Experiment station, in cooperation with the U.S. Department of Agriculture*. Six decades of rice research in Texas. pp.43-50.
- Yoshida S., Satake T. (1978). *High temperature-induced sterility in indica rice at flowering*. *Japan. Journal Crop Science*. 47(1): 6-17.

CAPÍTULO 23

Arroz: Época y densidad de siembra

Alfonso Vidal

Preparación del suelo

Son todas aquellas labores que permiten lograr una adecuada implantación para obtener una buena germinación, emergencia e implantación del cultivo. También incluyen las tareas para lograr un buen drenaje superficial dentro de la explotación y la construcción de taipas para contener el agua de riego (De Datta, 1981). La preparación del suelo ha estado ligada al régimen de tenencia de la tierra. En la Provincia de Entre Ríos, con un porcentaje importante de productores arrendatarios, su visión es en general a corto plazo con muy pocas posibilidades de hacer inversiones. Estos arriendan sus tierras a último momento por lo que la posibilidad de obtener un barbecho óptimo es escasa. Si estos campos ya han sido cultivados con arroz se encontrarán con taipas viejas, partes huelladas, lagunas, escaso drenaje y muy enmalezados. Si por el contrario el campo es nuevo, no habrá taipas ni huellas pero estará desnivelado y carecerá de drenajes. Esta situación provocará una preparación de la cama de siembra siempre en condiciones de exceso de humedad, provocando además la proliferación de malezas acuáticas y gramíneas perennes, que son de muy difícil erradicación una vez instalado el cultivo. También se hace difícil el control de las malezas anuales, ya que con un exceso de humedad, lo que dificulta una buena preparación del suelo, provocará un nacimiento desparejo con varias generaciones de malezas (Tamburini *et al.*, 1998).

Para superar esta situación la decisión de la siembra debe concretarse con una adecuada anticipación, por lo menos el verano anterior a la siembra, esto permitirá encarar los drenajes y caminos y también las estructuras de riego (Epagri, 1992). Si el campo está bien nivelado, se deben romper las taipas y hacer los cortes de drenaje. El campo se deja en estas condiciones hasta la primavera siguiente, pastoreándolo con ganado liviano, de manera de mantener la cobertura baja y el control de malezas. En este momento se comenzará a laborear en condiciones de campo, lo que facilitará las tareas y mejorará la calidad de la preparación y la siembra en fecha adecuada. Si el campo no está en condiciones de nivelación adecuada se debe comenzar con el laboreo en el verano anterior a la siembra con la rotura de taipas, y luego la preparación con excéntrica y rastras de discos, para finalmente nivelar el suelo. Esta época permitirá aprovechar el bajo nivel hídrico del suelo

para trabajar las depresiones y lomas del mismo (Gamarra, 1978). Al comenzar las labores debe tenerse cuidado de no perder la nivelación obtenida, para lo cual no conviene usar herramientas que formen lomos y esperar que la humedad del suelo permita el tránsito de los equipos y el trabajo normal de éstos. Las herramientas aconsejadas pueden ser las rastras niveladoras. En el caso que el campo este muy empastado o duro puede utilizarse la rastra excéntrica, pero con escasa profundidad. El resto de las labores son comunes a otros cultivos, pero siempre teniendo en cuenta no perder la nivelación.

Siembra

Existen en arroz una amplia gama de formas de conducción del cultivo en función principalmente al manejo del agua de riego (Mikkelsen & De Datta, 1980). En este sentido es posible encontrar cultivo en seco con variantes hasta riego con terreno ya inundado y siembra con semilla pregerminada y desde siembra directa hasta el transplante con situaciones intermedias (Grist, 1959). No obstante para simplificar nos remitiremos a describir las circunstancias que envuelven al sistema de cultivo de nuestra región que es siembra directa con posterior inundación.

La época de siembra se define en función del cultivar y la zona de producción. Los ensayos regionales del INTA han demostrado que para los cultivares disponibles, la época de siembra para la zona norte (Corrientes, Chaco, Formosa, Santa Fe, Misiones) se extiende desde fines de Agosto a mediados de Diciembre), a medida que nos trasladamos hacia el sur la época se va acotando a un mes, que va desde el 15 de Octubre al 15 de Noviembre debido fundamentalmente a dos razones: dificultad en la implantación más temprana, debido a la difícil preparación del suelo e indisponibilidad térmica, y a la incidencia de bajas temperaturas durante la floración, problema que se agrava en función del ciclo del cultivar elegido (Gamarra, 1978). En general siempre ha sido problemático para el productor lograr la siembra en época adecuada, debido a la tardanza en la entrada a los campos en el caso de los arrendatarios y a las condiciones climáticas asociadas a suelos con drenaje dificultoso. En general puede decirse que cuanto más tarde se siembre luego de la época recomendada, puede producirse un aumento en el porcentaje de quebrado, grano enyesado y manchado, asociados a cosechas tardías.

La densidad de siembra, aún dentro de la época recomendada puede tener variaciones en función de la variedad, el método de siembra, del vigor de la semilla, del poder germinativo, de las condiciones climáticas y la preparación del suelo. A medida que se adelanta la época de siembra, con bajas temperaturas de suelo, se requerirá una mayor densidad de siembra para compensar los problemas de implantación. Situaciones de siembra tardías obrarán en efecto contrario dado que se favorecerán las condiciones de implantación.

Es posible plantear como dato estimado a modo de orientación general, que en buenas condiciones de siembra pueden darse los siguientes porcentajes de implantación según el

método: al voleo 40%, en línea 50%, labranza mínima 50%. Esto demuestra de algún modo la gran pérdida de semilla que se produce y que debe ser considerada al momento de la siembra. En términos generales se puede hablar que una densidad de plantas ideal debería estar entre 250 y 300 plantas por m². Esto significa que para una variedad dada y si se pretende obtener una densidad de 250 plantas por metro cuadrado, a la cantidad de semilla debe agregarse un porcentaje extra según sea el sistema de siembra. Numerosos ensayos han demostrado la incidencia varietal en la respuesta al aumento de densidad. Existe una tendencia por parte del productor a usar altas densidades para asegurarse una buena población inicial de plantas, aunque como hemos visto esto muchas veces es contraproducente, más aún en cultivares con amplia aptitud de macollaje (Varela, 1983).

Métodos de siembra

Siembra convencional

Este es el método tradicionalmente utilizado. En una situación ideal consiste en colocar la semilla en una tierra preparada inmediatamente antes, libre de malezas, bien desmenuzada y con buena humedad y temperatura a fin de permitir una rápida implantación del cultivo. Este objetivo no siempre es fácil de lograr, ya que hay muchos factores que condicionan el llegar a la siembra en óptimas condiciones. No obstante conseguir este objetivo es el punto de partida para lograr una buena población de plantas inicial que es el primer escalón para lograr un buen rendimiento.

Existen dos métodos de siembra convencional: en línea o al voleo:

- La siembra al voleo presenta las ventajas de que su equipo es de menor costo. Mayor rapidez, aunque la fertilización debe hacerse separadamente. Existe una menor exigencia en la preparación del suelo y este puede tener un mayor grado de humidificación. Entre las desventajas pueden mencionarse: dificultad en regular la densidad, profundidad y la distribución de semilla, mayor costo de fertilización y excesiva cantidad de semilla utilizada.
- El sistema de siembra en línea presenta enormes ventajas con respecto al anterior ya que distribuye mejor la semilla, hay un mejor control de la densidad, se puede sembrar y fertilizar en una sola operación, profundidad uniforme, se economiza el fertilizante ya que éste se ubica mejor, además ahorra semilla. Entre las desventajas del sistema puede mencionarse: menor velocidad de siembra, mayor competencia entre plantas en la línea, mayor costo de mantenimiento de máquinas, mayor limitación de siembra en suelos húmedos.

Laboreo anticipado

El laboreo anticipado se comenzó a utilizar en la década del 90 y consiste en realizar una preparación de la cama de siembra y construcción de taipas en el verano – otoño previo a la siembra (Varela, 1983). El lote preparado queda así hasta la siembra en octubre, donde se

procede a la aplicación de herbicida total para sembrar directamente dentro de los 10 días posteriores a la aplicación. La sembradora presenta un sistema de balancín a fin de “copiar” las taipas. Las principales ventajas del sistema sobre el convencional son: menor requerimiento de HP/ha en tractor y sembradora, nacimiento parejo, tanto en las taipas como en sus cunetas, facilidad de siembra, sobre todo en lotes muy quebrados o con muchas taipas, menores requerimientos de mano de obra en el momento de la siembra, facilidad del manejo de lotes como los vertisoles hidromórficos, argiudoles vérticos, argiucoles vérticos (Gley subhúmedos), que pueden ofrecer dificultades en primaveras lluviosas. La principal desventaja del sistema es que no siempre es posible realizar siembras tempranas en septiembre, debido a que en años secos y fríos no es posible lograr un buen control de malezas.

Siembra directa

Este es un sistema que ha empezado a utilizarse en los últimos años como alternativa a la infección de arroz colorado, que es un grave problema en la mayoría de las áreas de cultivo. Además como efecto secundario, permite bajar costos y ajustar la época. Además esta técnica novedosa en el caso del cultivo del arroz se adapta mejor a variedades que puedan compensar las imperfecciones en el nacimiento. La siembra directa presenta las principales ventajas: es rápida y en fecha, hay mejor distribución de tareas a lo largo del año, menor equipo necesario, poco movimiento del suelo, piso más firme al momento de la cosecha, laboreo más racional del laboreo de verano ya que no hay que volver a laborar el suelo en primavera y mayor durabilidad y menor mantenimiento de los equipos al trabajar en mejores condiciones. Entre las desventajas pueden mencionarse: problemas de implantación por un menor contacto suelo – semilla mayor dificultad del control de malezas, en especial las gramíneas perennes, semilla con poca cobertura que puede ser destruída por los pájaros.

Bibliografía

- De Datta S.K. (1981). *Principles and practices of rice production*. New York: John Willey & Sons, 618 pp. Edit: IRRI.
- Epagri. (1992). *Sistemas de Producao para arroz irrigado em Santa Catarina: Florianopolis*, (EPAGRI. Sistema de Producao, 21). 65 pp.
- Gamarra G. (1978). *Preparación del suelo*. En: Arroz: manual de producción. Editorial. Hemisferio Sur. pp 129-150.
- Grist D.H. (1959). *Rice*. London. Editorial: Longman 601pp.
- Gamarra G. (1978). *Siembra En: Arroz: manual de producción*. Ed. Hemisferio Sur pp 129-150. Mikkelsen D.S. & De Datta S.K. 1980 Rice culture. In Rice: Production and utilization. Edit: Weatport: Avi. pp147- 234.
- Varela J. (1983) *Laboreo de verano*. Revista arroz. ACA año 2 n° 2 3ra época. pp 32.
- Tamburini J., Pozzolo O. & Martínez Peck R. (1998) *Preparación del suelo sistemas de siembra y maquinaria*. En Arroz: Cuaderno de actualización técnica n° 61: 48-61.

CAPÍTULO 24

Arroz: Fertilización y rotaciones

Rodolfo Bezus

Rotaciones

Las rotaciones en los ambientes donde se cultiva arroz presentan dificultades que limitan las alternativas viables. Esto es debido a los efectos del cultivo sobre el suelo y a los bajos rendimientos de los cultivos alternativos en la zona de producción. En las áreas con mejores suelos se han realizado rotaciones con cultivos anuales como soja, maíz y sorgo. Sin embargo en zonas de menor calidad de suelo el cultivo de arroz y la actividad ganadera ha predominado.

El manejo tradicional era realizar dos o tres años alternados de cultivo y luego se dejaba el lote por cinco a ocho años debido a los problemas de fertilidad y enmalezamiento. En los años sin arroz se establecía una vegetación natural que se utilizaba para producción animal. Luego, además se incorporaron siembras de pasturas que mejoraron los resultados de esta rotación. El rendimiento de arroz luego de pastura resultó en mejoras en las condiciones del suelo que se reflejan en los rendimientos (Chabatarof, 1995). El efecto benéfico de las pasturas se debe a la mejora de los niveles de materia orgánica y por lo tanto la disponibilidad de nitrógeno (De Battista, 1999). El efecto de las rotaciones sobre el manejo de las malezas es el segundo aspecto de importancia en la consideración de las rotaciones, sin embargo no se han encontrado beneficios al realizar la rotación con pasturas. Solo el efecto de pasturas anuales con laboreos estivales mostro disminución de la población de malezas (Méndez, 1993).

El ingreso de la soja y la agriculturización de la década del 90 mostraron que la rotación soja-arroz con uso de variedades resistentes a glifosato es una alternativa viable para incorporar al esquema de rotaciones. La adopción de la siembra directa, con la cual se valoriza la conservación del rastrojo en superficie, impulsó la realización de verdeos anuales (avena o raigrás) previamente al cultivo de arroz. Sembrados sobre el terreno sistematizado, se realizaban uno o dos pastoreos luego de los cuales se practicaba control químico con glifosato días antes de la siembra de arroz. Debido a la frecuente falta de piso para el aprovechamiento de los verdeos esta práctica se abandonó y actualmente se deja como cobertura la vegetación espontánea.

Nutrientes en arroz

La modalidad de cultivo y los suelos donde se produce el arroz determinan ambientes que modifican profundamente la dinámica de nutrientes.

Como todo cultivo para lograr rendimientos rentables es necesario contar con una provisión adecuada de nutrientes. La extracción de nutrientes del suelo es un indicador importante de las necesidades nutritivas de las plantas (Gamarra, 1995) pero además debe considerarse, el balance de nutrientes que determina los valores de disponibilidad y absorción. El arroz requiere 16 elementos esenciales: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), hierro (Fe), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (B), manganeso (Mn) y cloro (Cl). De estos los elementos principales son C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S, y son requeridos en cantidades relativamente más altas que los elementos menores, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl (De Datta, 1981).

Las condiciones de inundación definen el comportamiento nutritivo y la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Norman *et al.*, 2003). La inundación permanente establece un ambiente de anaerobiosis donde se restringe la difusión de gases entre el suelo y la atmósfera, disminuye el potencial redox y el PH tiende a la neutralidad afectando particularmente a cada nutriente (De Battista, 2005). Norman *et al.* (2003), mencionan que la inundación del suelo, puede mejorar la disponibilidad de sustancias nutritivas importantes como el fósforo y cationes como el potasio, pero ser una ventaja o un perjuicio en la disponibilidad de nitrógeno, dependiendo si el nitrógeno es en forma de amonio o en forma de nitrato, respectivamente. En el suelo, pocos días después de la inundación, el NO_3^- se reduce y se pierde como N_2 y N_2O , mientras que el NH_4^+ tiende a acumularse como resultado de la mineralización de nitrógeno (Dobermann *et al.*, 2000). En estas condiciones el nitrógeno es inmovilizado por los microorganismos de suelo y fijado por las arcillas y una gran parte se pierde por desnitrificación y volatilización en forma de amoníaco (Norman *et al.*, 2003).

Unas semanas después de la inundación, se distinguen cuatro zonas en el suelo : a) una capa de agua de inundación (15 cm); b) una capa oxidada muy delgada (0,1 – 1 cm) que se localiza debajo de la capa de inundación; c) una capa gruesa de suelo reducido (10 – 20 cm) que se encuentra entre la capa oxidada y la capa hasta donde llega la remoción del suelo con la labranza y d) una delgada capa oxidada en la rizósfera (0,1 – 0,5 cm) (Dobermann *et al.*, 2000). La inundación estabiliza la forma de NH_4 y desestabiliza el NO_3^- . El amonio proviene de la mineralización de la materia orgánica y se acumula en la zona reducida. Parte del amonio se difunde a la zona oxidada donde se transforma en nitrato, que se mueve nuevamente a la zona reducida donde se desnitrifica y pierde como nitrógeno gaseoso u óxido de nitrógeno. Cuando se agrega fertilizantes como urea se produce volatilización del amonio, determinando todo esto coeficientes de utilización del nitrógeno agregado que varía entre 30 y 40%. (Doberman *et al.*, 2000).

El nitrógeno es el nutriente de mayor influencia en la determinación del rendimiento ya que es definitorio en la determinación de todos los componentes del mismo. Por otro lado

la inundación determina incrementos en la concentración de fósforo debido a la reducción del Fe^{3+} a Fe^{2+} con la consecuente liberación del fósforo fijado y coprecipitado en los compuestos de hierro. Luego de unas semanas de inundación disminuye la disponibilidad de fósforo ya que forma complejos junto al Fe^{2+} (fosfatos de hierro) que precipitan y a la adsorción de fósforo en las partículas de arcillas y en los hidróxidos de aluminio (Dobermann *et al.*, 2000). El aumento de fósforo soluble permite al arroz una menor dependencia de fertilización aunque la alternancia de períodos secos lo disminuye marcadamente. El potasio incrementa su concentración en la solución del suelo una vez inundado sobre todo en suelos con arcillas ya que la fijación o disponibilidad del mineral depende de ello (Dobermann *et al.*, 2000).

El conocimiento de los requerimientos de nutrientes es básico para el diagnóstico de la fertilización pero varían según condiciones ambientales como clima, genotipo, manejo y con el nivel productivo que se plantee. En la Tabla 24.1 se muestran valores promedios de requerimientos y extracción.

Tabla 24.1. Requerimientos nutricionales de Arroz. (García, 2000)

Nutriente	Requerimientos (kg.t ⁻¹ grano)	Índice de cosecha	Rendimiento de 6000 kg ha ⁻¹	
			Necesidad (kg.ha ⁻¹)	Extracción (kg.ha ⁻¹)
Nitrógeno	22,2	0,66	133	88
Fósforo	3,1	0,84	19	16
Potasio	26,2	0,1	157	16
Calcio	2,8	0,04	17	1
Magnesio	2,4	0,42	14	6
Azufre	0,94	0,64	6	4
Boro	0,016	0,5	0	0,048
Cloro	9,7	0,43	58	25,026
Cobre	0,027	0,92	0	0,149
Hierro	0,35	0,57	2	1,197
Manganeso	0,37	0,16	2	0,355
Zinc	0,04	0,5	0	0,12
Silicio	51,7	0,19	310	59

La extracción de nutrientes abarca de todo el ciclo de cultivo pero las fases de macollaje y diferenciación del primordio floral son las que mayor intensidad de absorción (Gamarra, 1995),

El nitrógeno es el nutriente más limitante y aquel que genera mayores incrementos en el crecimiento y rendimiento de plantas de arroz (Engels, 1995; Norman, 2003). Las ventajas generadas por la aplicación de nitrógeno son las de estimular un rápido crecimiento de la planta, la producción de macollos, incrementar el tamaño de las hojas, número de espiguillas por panoja y de espiguillas llenas, el contenido de proteína en grano y mejorar en la tasa fotosintética. En consecuencia, el nitrógeno

afecta todos los parámetros que contribuyen al rendimiento (Dobermann *et al.*, 2000; De Datta, 1981).

La deficiencia de fósforo se manifiesta en una reducción del macollaje y del crecimiento radical. Por otro lado produce atraso en la floración y luego un menor número de granos llenos. La importancia del fósforo se ve incrementada por la baja disponibilidad existente en los suelos arroceros aunque no se han encontrado respuestas claras en incrementos de rendimiento (Battista, 2002). La influencia de la mayor disponibilidad de fósforo a partir su disponibilidad con origen en fracciones orgánicas y residuales (Quintero, 2004) explicaría este comportamiento.

El potasio permite contar con plantas de tallos fuertes y tiene influencia en el número de espiguillas por panoja, porcentaje de granos llenos y peso de mil granos. Como se ha expresado en los suelos con alto porcentaje de arcilla se produce la fijación de este elemento y el arroz depende de las reservas no intercambiables que son movilizadas por la acidificación de la rizófora (Doberman, 2000). Los buenos contenidos de potasio en los suelos arroceros no determinan la necesidad de fertilización en la mayoría de los casos salvo en suelos ricos en calcáreo donde la absorción de potasio es restringida (Quintero, 2002).

Un aspecto que debe considerarse para complementar la nutrición de este cultivo es la necesidad de micronutrientes destacándose el cinc como elemento que aparece como deficitario en los suelos de la zona de producción y que produce respuestas en el rendimiento del cultivo (Quintero, 2001). Por otro lado existen experiencias que indican que la aplicación de micronutrientes vía foliar incrementan los rendimientos del cultivo (Vidal, 2014). En los suelos con presencia de “tosquilla”, pH superior a 7 y más del 85 % de saturación con Ca se dan situaciones donde se encuentran respuestas a la aplicación de micronutrientes ya que varios de estos están disponibles para la planta.

Fertilización

La práctica de fertilización está generalizada en el cultivo de arroz salvo casos donde se habilitan arroceras en lotes nuevos de buena fertilidad o cuando se utilizan cultivares con susceptibilidad a vuelco. La decisión de fertilizar se centra en los macronutrientes y el zinc y se define según el tipo de suelo, su fertilidad, historia del lote variedad sembrada y manejo del cultivo. Para lograr un uso eficiente de los fertilizantes en arroz debe ponerse atención al manejo del agua, la fuente del fertilizante, el momento y método de aplicación y la cantidad de fertilizante que permita lograr incrementos rentables del rendimiento (Gamarra, 1996).

Fertilización Nitrogenada

Para lograr mejorar la eficiencia de la fertilización con nitrógeno debe seleccionarse una fuente que sea estable en el ambiente del suelo de la arrocera y realizar la aplicación en los momentos de máximo uso de la planta. Es necesario, sin embargo regular las dosis según la

fertilidad del suelo y no excederse ya que se puede favorecer un crecimiento excesivo y vuelco o el desarrollo de enfermedades. El manejo del agua es otro factor que define el resultado de la fertilización. La inundación en etapas tempranas del desarrollo (4-5 hojas) previene pérdidas de N por volatilización y desnitrificación y crea un ambiente propicio para aprovechar el fertilizante nitrogenado al mejorar la disponibilidad de P, Fe y Mn y las condiciones para el crecimiento del cultivo. Mantener una inundación continua es necesario para que no se pierda N al pasar a nitrato y lixiviarse o desnitrificarse.

Los fertilizantes nitrogenados utilizados comúnmente son fosfato mono y diamónico, sulfato de amonio y urea. Existen además otras formulaciones que suelen emplearse en la siembra como arrancadores y se componen de diferentes proporciones de nitrógeno y fósforo. Otra formulación utilizada es líquida (UAN).

Los momentos de mayor respuesta a la aplicación de nitrógeno son el macollaje y poco antes de diferenciación de la panoja. Las recomendaciones indican que es efectivo aplicar el nitrógeno en forma fraccionada al menos en dos veces para cubrir mejor las demandas del cultivo. Según la fertilidad del suelo y el contenido de materia orgánica se puede dividir la dosis total en partes iguales o 70% en macollaje y 30% en diferenciación. La aplicación de macollaje debe realizarse justo antes de inundar el cultivo permitiendo una incorporación rápida que reduce las pérdidas por volatilización. Las dosis recomendadas pueden variar entre 60 y 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno y pueden relacionarse con el contenido de materia orgánica del suelo (Tabla 24.2).

Tabla 24.2. Recomendación de fertilización con nitrógeno en función del contenido de materia orgánica del suelo.

Materia orgánica %	Interpretación	Recomendación kg.ha ⁻¹ de N
Menor a 2,5	Bajo	90 a 120
2,6 a 5	Medio	60 a 90
Mayor a 5	Alto	60 o menos

El contenido de materia orgánica permite discriminar sitios con y sin respuesta a la fertilización pero no estima la cantidad de N que se mineraliza en el suelo. Se ha establecido una relación entre el N mineralizado en incubaciones en anaerobiosis en laboratorio y la disponibilidad de N relacionado con la respuesta a la fertilización. Para suelos de Entre Ríos se encontró la siguiente relación entre amonio mineralizable y tenor de materia orgánica:

$$N \text{ mineralizable (mg.kg}^{-1}\text{)} = -60 + 39,2\% \text{ MO}$$

Así, para un horizonte superficial de 15 cm y una densidad aparente de 1,1 g.cm⁻³ se determina que la cantidad de N mineralizable será de 65 kg de N por cada unidad porcentual de materia orgánica por encima de 1,54%. Con el dato de materia orgánica puede calcularse la máxima provisión de N considerando que esta será menor a la esperada por estar afectada por las condiciones de campo.

La dosis a recomendar, a su vez puede variarse según información local acerca de la respuesta de los cultivos sembrados, y la probabilidad de desarrollo de enfermedades o vuelco. Debe tenerse en cuenta la disponibilidad de los otros nutrientes como fósforo y potasio ya que condicionan la respuesta al nitrógeno. El cultivo de arroz en Entre Ríos presenta una deficiencia de N generalizada, debido a que los suelos no pueden liberar suficiente cantidad para sostener altos rendimientos, por lo cual la respuesta a la fertilización nitrogenada es muy significativa y se recomienda su aplicación en todos los casos (Quintero, 2015). En 57 ensayos realizados desde 1999 (De Battista, 2014), se encontró que solo con nitrógeno se produce incrementos de rendimientos en el 60% de los casos con dosis de 25 kg.ha⁻¹ de N, en el 79% con 50 kg.ha⁻¹ de N y 61% con 75 kg.ha⁻¹ kg.ha⁻¹. La dosis dividida puede ser útil para mejorar la eficiencia de uso y otras técnicas como la localización del fertilizante, formulaciones de urea protegida con inhibidores de la nitrificación y fertilizantes de liberación controlada, están siendo utilizadas con ese fin.

Fertilización con Fosforo

Si bien los suelos de Entre Ríos son genéticamente deficientes en P para los cultivos de secano, frecuentemente la liberación de P en condiciones de anaerobiosis es suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo de arroz. Las respuestas a la fertilización con P se verifican únicamente en suelos con pH neutro a ligeramente alcalino (Quintero, 2015). Este nutriente, sin embargo es comúnmente utilizado (De Battista & Arias, 2005). La cantidad de P disponible para el arroz que pueden liberar los suelos (24±6 kg.ha⁻¹), sería suficiente para rendimientos cercanos a 9000 kg ha⁻¹. En suelos de pH superior a 7 la respuesta a P fue significativa ya que la liberación de P que se produce por la condición de anaerobiosis, al haber muy poco hierro activo (Fe⁺²) para reducir, es escasa (Quintero *et al.*, 2007).

Los fertilizantes con fósforo se aplican al inicio del ciclo del cultivo y se utilizan fertilizantes que además tienen nitrógeno como fosfato monoamónico, diamónico y en menor proporción fosfato triple de calcio. Los análisis de suelo tradicionales no son representativos para realizar recomendaciones de aplicación ya que la inundación modifica la disponibilidad y determina la respuesta. Se ha determinado que el pH del suelo es un mejor estimador de la respuesta y recomiendan mayores dosis de P cuando el pH del suelo es superior a 6.5 (Wilson *et al.*, 2000). También se debe considerar que los suelos que presentan tenores de MO superiores a 3.6%, tienen una capacidad de liberación de P muy elevada (Quintero *et al.*, 2007). En estas condiciones de alta disponibilidad natural de P, sumada a la fertilización con P, es posible que se de mayor deficiencia de Zn y/o toxicidad por arsénico (As), que deprimen el rendimiento. Se estima que con valores mayores a 9 ppm no se encontrará respuesta (Gamarra, 1996) y con menos de 6 ppm se recomienda aplicar 40 kg.ha⁻¹ de P expresado como pentóxido.

Fertilización con Potasio

La disponibilidad de K en los suelos de Entre Ríos y Corrientes es media a alta. Sin embargo, la respuesta a su aplicación en arroz es significativa cuando la proporción de Ca

en el complejo de cambio es elevada y se verifica un pH neutro a alcalino. En suelos ligeramente ácidos no se justifica la aplicación.

El potasio es importante en la etapa de macollaje, pudiendo influir en la determinación del número de panojas. También tiene influencia en la formación y de los granos y su peso. En caso de realizar aplicaciones de este nutriente el momento indicado es durante las últimas operaciones de preparación del suelo junto al fósforo ya que fertilizaciones posteriores son poco eficientes. El instituto Riograndense de Arroz indica aplicaciones de 80 kg.ha⁻¹ en suelos con menos de 30 ppm y entre 40 y 80 kg.ha⁻¹ con valores medios de 30 a 60 ppm.

Fertilización con Zinc

El Zn posee una baja disponibilidad en el suelo lo que determina frecuentes respuestas sobre todo en suelos de pH 7 o superior. Se recomienda la incorporación de este micronutriente en los programas de fertilización. Las respuestas a Zn aplicado en semilla son constantes y significativas y junto al K responden en suelos de pH neutro a ligeramente alcalino. El exceso de Ca intercambiable que se da en suelos de pH ligeramente alcalino, deprime la absorción de K y reduce la actividad metabólica del Zn en el arroz (Quintero *et al.*, 2006). En el caso del Zn, dado el bajo costo del tratamiento, su recomendación de uso como fertilizante en la semilla es generalizada, ya que aún en suelos de pH ligeramente ácido, la respuesta cubre los costos. En casos de pH elevado podría complementarse con aplicaciones foliares de Zn, que han mostrado muy buenos resultados (Arévalo *et al.*, 2008). En los últimos años, a partir de experiencias y ensayos promisorios (Quintero, 2006), la fertilización con zinc (Zn) se ha adoptado como una práctica frecuente entre los productores, superando el 60% del área cultivada. Más recientemente, en algunas circunstancias y menos frecuentemente, se ha incorporado al potasio (K) en las mezclas de fertilizantes.

Bibliografía

- Arévalo E., Quintero C., Spinelli N., Boschetti N.G, Befani M., y Zamero M. 2008. Evaluación de Dosis, Fuentes y Momentos de la aplicación de Zinc. Proarroz. Resultados Experimentales 2007-2008. XVII. pp.93-98.
- Arroz Irrigado. 2012. Recomendaciones Técnicas de la investigación para el sur de Brasil. Epagri - Embrapa, IRGA, UFPel, UFRGS, UFSM Itajaí, SC.
- De Battista J.J. 2005. Fertilización del arroz con NPK en Entre Ríos. En: El arroz. Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. UNER. Concepción del Uruguay. Argentina. 1 (2) 379-391.
- Chabatarof N. & Deambrossi E. 1995. Fertilización con nitrógeno en arroz. Jornadas de actualización técnica de arroz. EEA.INTA. Concepción del Uruguay. 11-41.
- De Battista J. 1999. Rotaciones arroz-pastura en Entre Ríos. Actas de: Reunión técnica Integracao Arroz x Pastagens no ecossistema campos. Uruguiana. 189-192

- De Battista J. Arias N., Pozzolo O., Pitter, E.; Wilson, M.; Cerana, J.; Benintende M., Benintende S., Diaz E., Duarte O., Valenti R., Alvarez A. & Muller H. 2003. Rotaciones en suelos arroceros. Resultados 2002-2003. Proarroz. Resultados Experimentales 12:35-40.
- Battista, J.J. & Arias N. 2005. Capítulo 19: Arroz. En: Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. H.E. Echeverría & F.O. García. INTA. 399-407.
- De Datta S.K. 1981. Mineral Nutrition and fertilizer management of rice. En: Principles and Practices of Rice Production John Wiley & Sons. A Wiley – Interscience Publication. Canadá. pp 348 – 360.
- Dobermann A. & Fairhurst. 2000. Crop nutrient requirements. The nutritional balance concept. En: Rice Nutrient disorders & nutrient management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute. pp 25 - 28.
- Dobermann A & Fairhurst. 2000. Nitrogen deficiency. En: Rice Nutrient disorders & nutrient management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute. pp 41 – 59.
- Engels C. & Marschner H. 1995. Plant uptake and utilization of nitrogen. En: Nitrogen fertilization in the environment. Bacon, P.E (ed). Department of Agronomy Iowa State University. USA. pp 41 – 80.
- Gamarra G. 1996. Malezas. En: Arroz. Manual de Producción. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Cap VIII. pp 227-291.
- García F. 2000. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Fertilidad 2000. INPOFOS: 40-43.
- Mendez R. 1993. Rotación arroz- pastura. Serie técnica nº 38. INIA. Treinta y tres Uruguay.
- Norman R.J., Wilson C.E, Slaton N.A. 2003. Soil fertilization and mineral nutrition in U.S mechanized rice culture. En: Rice: origin, history, technology and production. C.W Smith & R.H Dilday, (eds). J. Wiley & Sons, Incorporated. U.S. Chapter 3(4) pp 331 – 411.
- Quintero C., Gutierrez Boem F., Befani M., Boschetti, N.G. 2007. Effects of soil flooding on phosphorus availability in soils of Mesopotamia, Argentina. Journal of Plant Nutrition Soil Science, 170:500-505.
- Quintero C., Anthonioz Blanc D., Arevalo E. & Boschetti N. 2001. Primeros avances en la comprensión del problema que afecta al cultivo de arroz en suelos con tosquilla. Proarroz. Resultados Experimentales 2000-2001. 11: 75-83.
- Quintero C., Arevalo E., Arrua J. & Boschetti N. 2002. Respuesta a la fertilización en suelos con tosquilla. Proarroz. Resultados Experimentales 2001-2002.11: 35-38.
- Quintero C., Zamero M.A., Van Derdonck G., Boschetti G., Befani M.R. & Arévalo E., Spinelli N. 2014. Fertilización balanceada de arroz en Entre Ríos. INPOFOS. 20-23.
- Vidal A., Bezus R., Pincirolli M. & Scelso L. 2014. Fertilización foliar en estado de macollaje de arroz: efectos sobre el rendimiento y la calidad del grano en el cultivar Don Ignacio. Proarroz. Resultados Experimentales 2013-2014. 103-104.
- Wilson C., Slaton N., Norman R, & Miller D. 2000. Efficient use of fertilizer. En: Rice Production Handbook. Cooperative Extension Service, University of Arkansas. pp 51-74.

CAPÍTULO 25

Arroz: Manejo de enfermedades

Alfonso Vidal y María Constanza Fleitas

El cultivo de arroz puede ser afectado por diversas enfermedades que provocan severas mermas en los rendimientos y la calidad del grano. En nuestro País no existe una evaluación acerca del daño económico que pueden producir, si es cierto que su incidencia se ha incrementado en los últimos años. La información existente de la incidencia en otros países indica que el daño causado por enfermedades se estima en un 5% de reducción de rendimiento en Arkansas, Louisiana, Misissippi y Texas (Atkins, 1972). Datos de Brasil (Ribeiro, 1985), han estimado un 10% de reducción para el arroz de regadío.

La incidencia de las enfermedades depende del germoplasma utilizado, las condiciones ambientales, las características y agresividad del propio agente causal y situaciones de manejo. Es por ello que desde su interacción las variedades con tolerancia pueden volverse de golpe susceptibles. ("Arroz Irrigado", 1993).

Las principales enfermedades presentes en el País son:

- Brusone quemado o piriculariosis (*Pyricularia grisea* L.)
- Podredumbre del tallo (*Sclerotium oryzae*)
- Mancha de la vaina (*Rhizoctonia oryzae* y *R. sativae*)
- Mancha de la gluma (*Phoma* sp y complejo de hongos asociado)
- Cercosporiosis o mancha lineal de la hoja (*Cercospora oryzae*)
- Mancha parda de la hoja (*Helminthosporium oryzae*)

Quemado del Arroz (producida por *Pyricularia grisea* L.)

Es la enfermedad más importante del cultivo en todo el mundo debido a que afecta todos los órganos de la planta y puede incidir durante todo el ciclo del cultivo. Por lo tanto tiene incidencia en los componentes del rendimiento y la calidad del grano. El nivel de daño depende del momento del ataque y de la severidad del mismo. Cuando el ataque en las hojas es muy intenso (Blast) (Fig. 25.1) puede provocar atisnamiento de las mismas provocando su muerte y la de la planta. Si el ataque es en la base de la panoja en el

momento de la floración el daño es muy importante provocando desde vaneo hasta granos enyesados y quebrados. Existe un ataque posterior sobre los nudos del tallo próximos a madurez que pueden provocar quiebre de los mismos y pérdidas de panojas.

Las condiciones predisponentes son la coincidencia de la floración con condiciones de baja luminosidad, alta temperatura y elevada humedad. Los síntomas en las hojas son la aparición de pequeños puntos castaños, circundado con un halo amarillento, en las germoplasmas susceptibles, aumentan de tamaño y se alargan con bordes irregulares de color castaño rojizo en forma de huso, posteriormente estas manchas se tornan grisáceas en el centro (Fig. 25.1).

En las variedades resistentes las lesiones se mantienen pequeñas, pero en las susceptibles o en condiciones favorables se incrementan y atizonan. En los tallos los síntomas aparecen en los nudos, formando un anillo circular, provocando la muerte de tejidos, se interrumpe la circulación de la savia, provocando una gran cantidad de granos chuzos o mal formados y con alto porcentaje de quebrados. El ataque más importante es en el cuello de la panoja, en este caso no solo afecta el llenado del grano sino que muchas veces produce el quiebre de la panoja. En la panoja la enfermedad se localiza en las ramificaciones, provocando espiguillas aisladas estériles.

El ciclo de la enfermedad comienza con la diseminación de las esporas por el viento, llegan a la planta y los conidios germinan emitiendo un apresorio que penetra las células colonizándola produciendo en este momento las primeras manchas. También puede infectar por medio de micelio que se encuentran en la semilla o en restos de vegetales del cultivo o de otras plantas hospedantes (*Leersia* spp, *Echinochloa* spp y *Oryza* sp) todas malezas de frecuente presencia en el arrozal. El periodo donde la enfermedad es particularmente peligrosa va de embarrigamiento a fin de floración, luego del vuelco de la panoja los daños disminuyen.



Figura 25.1. Síntomas en hojas y tallos del quemado del arroz, producida por *Pyricularia grisea*. Fuente: Groth (2009a)

Las condiciones que pueden favorecer el ataque son exceso de nitrógeno amoniacal o soluble, falta de carbohidratos por escasa actividad fotosintética, exceso de fertilización nitrogenada, menor acumulación de sílice en las paredes celulares por suelo seco, bajas temperaturas, poca luminosidad, deficiencia de magnesio, exceso de materia orgánica, y susceptibilidad varietal. En cuanto a las condiciones ambientales las temperaturas adecuadas para la incidencia de la enfermedad se ubican entre 20 y 30°C con un óptimo de 26-28°C. Cuando la humedad relativa excede 90%, el periodo de mojado de hojas es mayor y esto aumenta las posibilidades de infección. Los días lluviosos y nublados favorecen la formación de esporas y aumentan el N no proteico en las plantas. El rocío estimula la germinación de esporas y formación de apresorios aumentando el riesgo de infección. Cuanto menor es la luminosidad mayor la posibilidad de ataque, esto es debido a que con poca luz las paredes celulares se silifican menos, hay menor fotosíntesis, mayor acumulación de N no proteico y mayor formación de esporas.

Los suelos fértiles y con mucha materia orgánica favorecen un crecimiento exuberante de la planta aumentando el efecto de la enfermedad. El efecto contrario suelos pobres y plantas débiles también aumentan el efecto de la enfermedad. Desde el punto de vista del contenido de agua cuanto más secos estén los suelos mayor incidencia por menor silificación, menor formación de carbohidratos, y más N no proteico. La severidad del ataque aumenta con la fertilización nitrogenada a la vez que la ausencia de magnesio y manganeso favorece la enfermedad. Un manejo deficiente del riego afecta a las plantas por lo que tiene el mismo efecto de suelos secos sobre la evolución de la enfermedad.

Las siembras tardías de variedades más susceptibles llevan el periodo de panojamiento a épocas más favorables para el quemado. Un exceso de plantas (alta densidad) favorece el sombreado y un microclima de alta humedad por lo que aumenta el riesgo. Un efecto similar se produce con la siembra al voleo o la alta infección con malezas, con el agravante que estas pueden ser huéspedes del hongo.

Finalmente existen muchas razas del hongo y ellas difieren en su capacidad de infectar distintos germoplasmas por lo que la incidencia puede variar muy rápidamente cuando se introducen variedades resistentes a las razas predominantes en una determinada región, dificultando los planes de mejora.

Podredumbre del Tallo (producida por *Sclerotium oryzae*)

Es la enfermedad más importante del tallo por el nivel de daño y rápida propagación. Suele afectar chacras con varios años de cultivo debido a que los esclerocios (órganos de propagación) permanecen durante mucho tiempo en el suelo. Sus ataques son por manchones a fin de ciclo provocando podredumbre de los tallos y vuelco. Cuando la podredumbre es parcial provoca granos chuzos y si se extiende al interior del tallo puede bloquear la circulación de savia y afectar la panoja. Se caracteriza por la podredumbre de los

tallos a nivel de pelo de agua (Fig. 25.2). Los primeros síntomas son manchas pardo - oscuras, ovales que se desarrollan en la parte exterior de la vaina. Cuando la enfermedad afecta al tallo pueden encontrarse los pequeños cuerpos esféricos negros de aproximadamente 0,5mm de diámetro que son los esclerocios del hongo. Como estos flotan en el agua es fácil su dispersión y progreso a otras plantas vecinas. Los mayores daños se producen entre el macollaje y la floración. La alta humedad y temperaturas entre 25 y 30°C y toda situación que favorezca un crecimiento vegetativo desmedido favorecen la enfermedad. Suelos mal drenados y pesados de topografía muy plana en donde el agua permanece estancada durante largos periodos también favorecen la enfermedad.



Figura 25.2. **A** y **B**. Daños en tallos producido por *Sclerotium oryzae*. **C**. Esclerocios del hongo sobre tallos. Fuente: Propia, Groth (2010a) y Groth (2009b) respectivamente

Mancha lineal (producida por *Cercospora oryzae*)

Es una enfermedad que tiene frecuencia en el cultivo aunque su presencia se establece poco antes de madurez por lo que su incidencia es baja. Normalmente se establece en las hojas y en ataques severos puede secarla totalmente, además ataca tallos provocando coloraciones marrones. Se presenta en manchas alargadas en sentido longitudinal de 2 a 19 mm de largo (Fig. 25.3). Terminado el ciclo del cultivo el hongo permanece en las semillas, en el resto del cultivo y aun en plantas de arroz rojo que son fuentes de diseminación de la enfermedad. Altas temperaturas 28-32°C y humedad relativa favorecen la enfermedad.



Figura 25.3. Síntomas de *Cercospora oryzae* sobre hojas de arroz. Fuente: Propia y Groth (2009c)

Mancha castaña (producida por *Helminthosporium oryzae*)

Puede provocar disminución en la germinación y muerte de plántulas en menor grado esterilidad de espiguillas y manchas en glumas. Su incidencia es mayor cuando la temperatura es baja en siembras tempranas y en plantas adultas aparece en siembras tardías. Aunque su presencia es frecuente su incidencia es menor. El ataque del hongo es frecuente en hojas, en las que aparecen puntos parduzcos, mas tarde se vuelven ovals con el centro claro y el margen marrón oscuro o rojizo (Fig. 25.4). Cuando el ataque se da en plántula puede provocar su muerte. La enfermedad se transmite por semilla infectada, luego el hongo completa su esporulación. Los momentos de mayor susceptibilidad de arroz es durante la germinación y la emergencia, luego macollaje y en floración. Las condiciones ambientales para su desarrollo se corresponden con las del quemado. Es más frecuente en chacras viejas o lotes degradados.



Figura 25.4. Hojas afectadas por *Helminthosporium oryzae*. Fuente: Groth (2009d), Brown (2008a; b) respectivamente

Manchado de las vainas (producido por *Rizoctonia oryzae*)

Conforman junto a *Sclerotium* spp y *Cercospora* spp el complejo de hongos que atacan el tallo. Los síntomas se caracterizan por la muerte de hojas inferiores con vainas atacadas y puede provocar esterilidad de panojas y vuelco (Fig. 25.5). Se observan en las vainas manchas difusas de 1 a 3 cm, de color marrón rojizo, se alargan rápidamente y adquiere una forma oval de centro más claro y bordes marrones oscuros justo encima del pelo de agua (Fig. 25.5). Si la enfermedad progresa los efectos son similares a los provocados por la podredumbre del tallo. La forma de propagación es similar a la de *Sclerotium* spp. Un crecimiento vegetativo exagerado

ya sea por la fertilidad del lote o inadecuada fertilización nitrogenada, favorece la aparición de esta enfermedad la alta densidad también la favorece. Días nublados con altas temperaturas y humedad excesiva son favorables.



Figura 25.5. A. Tallos con síntomas de *Rhizoctonia oryzae*. B. Plantas afectadas por la enfermedad y sanas dentro del cultivo. Fuente: Groth (2009e) y Groth (2010b)

Mancha de glumas (Phoma sp, Helminthosporium oryzae, etc.)

Es un complejo de hongos que afectan a las glumas produciendo manchas y provocando esterilidad (Fig. 25.6). Los más comunes son *Phoma* spp. y *Helminthosporium oryzae*. Su aparición es más severa cuando se dan temperaturas entre 15 y 20°C durante el periodo de embarrigado y floración, atribuyéndose erróneamente a problemas de frío, aunque según algunos autores existe una correlación entre la agresividad y bajas temperaturas (Ribeiro,1985).

Desordenes fisiológicos

Con este término se designan algunas adversidades abióticas del cultivo como el pico de loro y algunas toxicidades que se producen dadas las condiciones del manejo por anaerobiosis como la toxicidad al hierro, aluminio o manganeso.

Por su importancia en el País solo describiremos aquí el “*Straight head*” o pico de loro (Fig. 25.7).

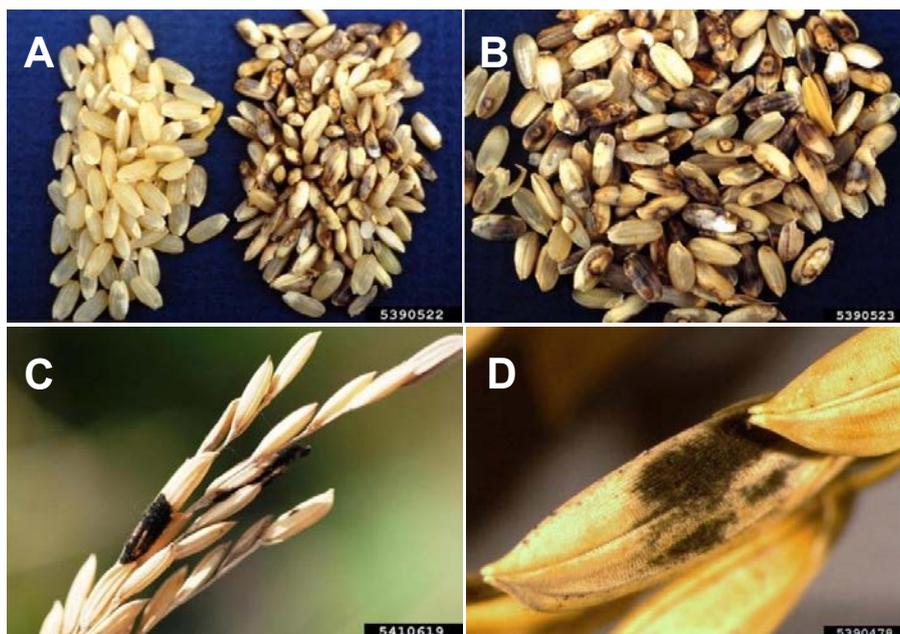


Figura 25.6. **A y B.** Granos con síntomas de mancha de la gluma ocasionados por *Helminthosporium* spp. **C y D.** Ídem sobre glumas. Fuente: Groth (2009f; g), Groth (2010c) y Groth (2009h) respectivamente

Es un desorden fisiológico de origen no bien conocido pero que afecta al arroz y es más notorio en suelos mal drenados durante períodos prolongados y en campos de pasturas con alto tenor de materia orgánica. Se aprecia por manchones y en general estos se repiten en el mismo lugar en sucesivos años.

La bibliografía también los asocia a suelos sueltos y livianos con alto contenido de materia orgánica o con residuos arsenicales. Existe una respuesta varietal diferencial al problema. El primer indicio es la presencia de plantas con un color verde más oscuro y una mayor rigidez en el periodo de alargamiento de entrenudos. Durante la floración esas áreas aparecen con las panojas erectas y estériles con las glumas torcidas en forma de pico de loro, sin órganos sexuales. Las medidas de control no aparecen como muy efectivas, no obstante el uso de variedades tolerantes y el retiro del agua de inundación antes del alargamiento parecen ser las medidas más efectivas.



Figura 25.7. **A y B.** Panoja de arroz afectada por vaneo fisiológico. **C.** Ídem sobre espiguilla de arroz. Fuente: Propia y Groth (2009i; j) respectivamente

Bibliografía

- Arroz Irrigado. (1993). *Recomendaciones técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. XX Reuniao da cultura do arroz irrigado. Embrapa, Pelotas, Insetos e pragas". pp 37-54.
- Atkins J.G. (1972). "*Rice diseases*". Farmer's Bulletin 2120, US department of Agriculture. Washington DC. pp 50-55.
- Brown Jr W.M. (2008a) Helminthosporium leaf spot *Helminthosporium* sp. Colorado State University, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5356986> Último acceso: Junio de 2015.
- Brown Jr W.M. (2008b) Helminthosporium leaf spot *Helminthosporium* sp Colorado State University, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5356985> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009a). *Gray leaf spot Magnaporthe grisea* Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390518> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009b). *Stem rot of rice Sclerotium oryzae*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390537> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009c). *Narrow brown leaf spot Cercospora janseana*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390516> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009d). *Brown spot of rice Cochliobolus miyabeanus*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390485> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009e). *Sheath spot of rice Rhizoctonia oryzae*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390484> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009f). *Brown spot of rice Cochliobolus miyabeanus*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390522> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009g). *Brown spot of rice Cochliobolus miyabeanus*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390523> Último acceso: Junio de 2015.

- Groth D. (2009h). *Cochliobolus leaf spot / black kernel Cochliobolus lunatus*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390478> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009i). *Straight head*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390559> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2009j). *Straight head*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5390521> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2010a). *Stem rot of rice Sclerotium oryzae*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5410677> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2010b). *Rhizoctonia damping-off, blight and rot Rhizoctonia solani*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5410675> Último acceso: Junio de 2015.
- Groth D. (2010c). *Cochliobolus leaf spot / black kernel Cochliobolus lunatus*. Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org. Disponible en:
<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5410619> Último acceso: Junio de 2015.
- Ribeiro A.. (1984). *“Doenças do Arroz Irrigado*. Circular técnica nº 19. EMBRAPA 20-25.

CAPÍTULO 26

Arroz: Manejo de plagas

Alfonso Vidal

En general no son numerosas las plagas que afectan el arroz en el País aunque su incidencia ha crecido en los últimos años. Es importante conocer cuáles son, el momento en que actúan, el nivel del daño y las medidas de control. Estas plagas pueden clasificarse según el momento del ataque respecto al desarrollo del cultivo (antes o después de la inundación) o la parte de la planta que afecten. (Gamarra, 1990)

Tomando en referencia este último concepto se podrían clasificar:

Las que afectan la semilla y raíces pueden ser atacadas por larvas y adultos de coleópteros, antes o después de la inundación. Los pájaros pueden afectar en la siembra, los primeros estadios del cultivo o en la cosecha. Las que afectan tallos y hojas por ejemplo insectos masticadores y chupadores. Los granos pueden ser afectados por un complejo de insectos chupadores que afectan su cantidad y calidad. También como se dijo existe la posibilidad de daño importante por pájaros durante el llenado del grano dependiente de la zona y tamaño del lote.

Las principales plagas son:

Oruga militar (*Spodoptera frugiperda*) (Fig. 26.1)

Normalmente afecta en el periodo vegetativo antes de la inundación. Su incidencia radica en que atacan en gran número en las franjas del cultivo y normalmente cada planta es afectada por una oruga por lo que el daño puede ser considerable. Además de alimentarse de hojas cortan el tallo a nivel del suelo. En lotes planos tiende a desaparecer con el agua de la inundación, migrando hacia las taipas. En lotes más ondulados puede afectar el cultivo hasta floración. Normalmente prefieren afectar al capín, pasando al arroz cuando se elimina la maleza. Como todos los noctuidos, oviponen durante la noche (hasta mil huevos) sobre las hojas. Las lagartas blancas con cabeza negra nacen a los 10 días. Luego a medida que crecen su color es verde a negruzco con banda blanca a cada lado y por debajo una banda amarilla. Completan el crecimiento en 3 o 4 semanas y cambian de estado bajando de las plantas a la superficie del suelo. De la crisálida emerge el adulto en 2 semanas.



Figura 26. 1. **A y B.** Larva de *Spodoptera frugiperda*. **C.** Adulto de *S. frugiperda*.
Fuente: Clemson University (2003) y Lambert (1996)

Barrenadores (*Elasmopalpus lignosellus* y *Diatraea saccharalis*) (Fig. 26.2 y 26.3)

Este insecto perfora el tallo a nivel del suelo y penetra hasta el centro del mismo, subiendo luego por dentro de la planta y provocando su muerte. Su presencia es mayor en años secos y se restringe con las lluvias y la humedad. El ciclo biológico ya fue descrito para el cultivo del maíz, en el cual su incidencia es mucho mayor.

El manejo del agua puede ser un elemento valioso en el control tanto de *Spodoptera* spp. como de *Pseudaletia* spp. (Fig. 26.1) También puede ser efectiva contra *Elasmopalpus* sp. Si es posible dar un baño temprano se puede reducir su población. Es efectiva además la destrucción de restos vegetales sobre todo en chacras que han tenido problemas de barrenadores o chinches. En casos extremos y midiendo el daño económico se puede apelar al control químico con cipermetrinas.

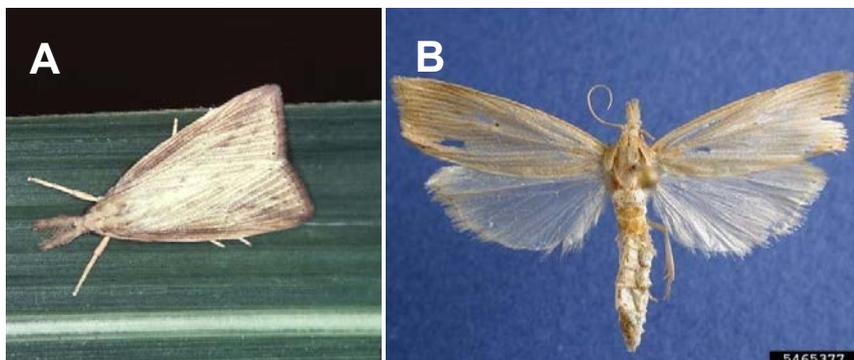


Figura 26. 2. **A y B.** Adulto de *Diatraea saccharalis*. Fuente: White (2003) y Pest and Diseases Image Library (2012) respectivamente

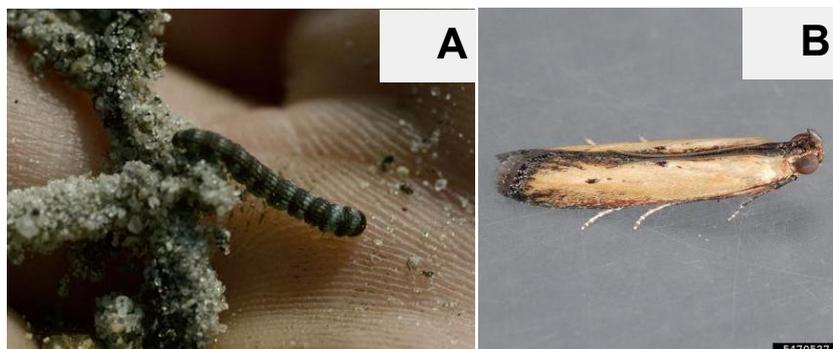


Figura 26. 3. **A y B.** Larva de *Elasmopalpus lignosellus*. **C.** Adulto de *E. lignosellus*.
Fuente: Dreiling (20129) y Brown (1990) respectivamente

Gorgojo Acuático (*Oryzophagus oryzae*)

La forma larval de este coleóptero daña el sistema radicular. Los adultos comienzan a aparecer luego de inundado el cultivo y a los 10 o 15 días aparecen las larvas. Los primeros lotes que se inundan son en general los más afectados. La mayor intensidad del ataque se produce en los puntos en donde la lámina de agua es más profunda. El adulto puede permanecer en plantas de *Echinochloa crusgalli*, *Cynodon* spp. o *Brisa* spp. La hembra pone sus huevos en la raíz de la planta perforando los tejidos y depositando un huevo en cada cavidad. La larva emerge a los 6-7 días y al principio cava galerías, pero luego corta las raíces en todas direcciones (Ferreira et al., 1997) (Fig. 26.4)

Los adultos se alimentan de las hojas de arroz, dejando unas marcas longitudinales descoloridas características de 1,5 cm de largo siendo un signo de su presencia aunque este daño no causa demasiado daño económico. Los principales daños son causados por la larva dado que las plantas presentan poco vigor y desarrollo, color amarillento con punta de hojas secas.

El nivel de posible daño puede ser efectuado de dos maneras:

- a) mediante el seguimiento del daño del adulto
- b) Mediante el conteo de larvas en las raíces.

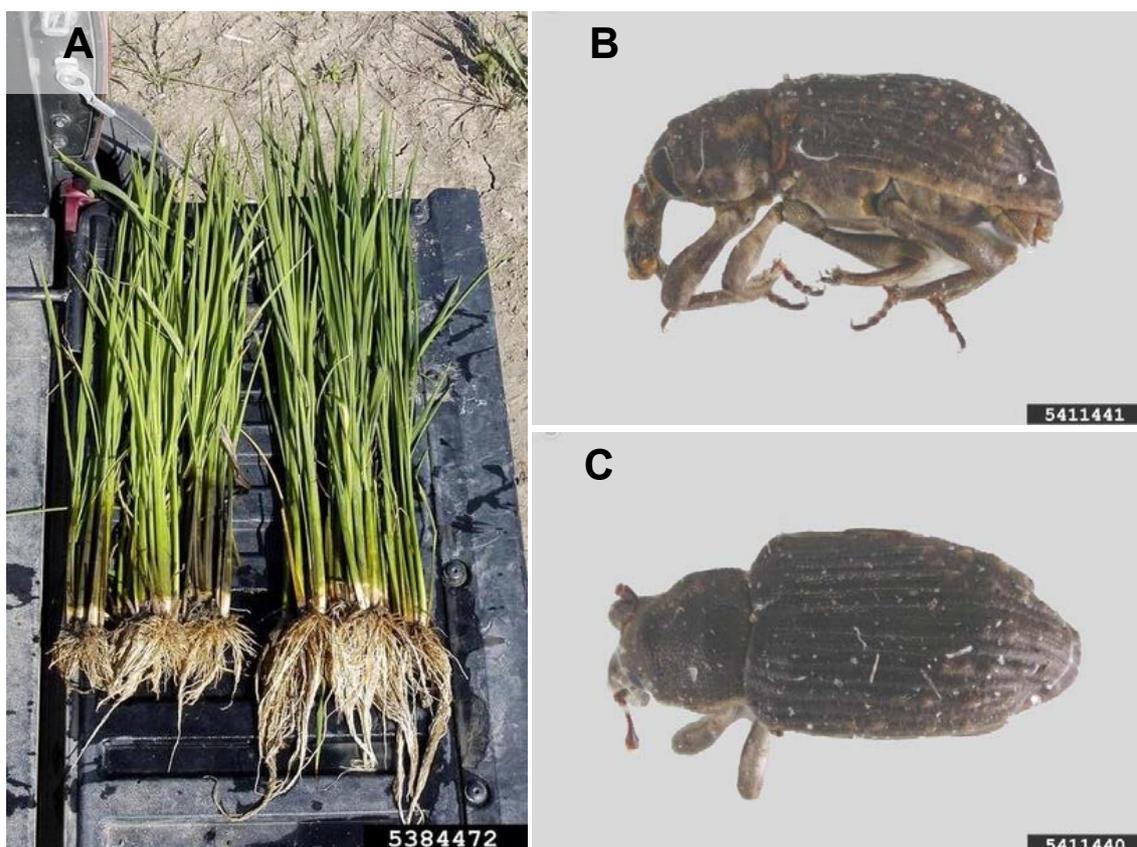


Figura 26.4. **A.** Daños ocasionados por *Lissorhoptrus oryophilus* donde se observan plantas de arroz afectadas de menor vigor (Izquierda) y normales (Derecha). **B y C.** Adulto de *L. oryophilus*. Fuente: Hummel (2008) y Cardona-Duque (2010a; b)

El primer caso es válido solo para las primeras semanas luego de la inundación, ya que después no coinciden los daños en las hojas con la cantidad de larvas en las raíces. En el caso 1 con la presencia de un 50% de plantas con hojas comidas en un muestreo del lote debe iniciarse el control y para el segundo caso a partir de la segunda semana de inundación se efectúa un muestreo de plantas, con un muestreo de suelo de 10cm de diámetro y 10 de profundidad en diferentes sitios y cuando se encuentren 10 o más larvas debe iniciarse el control.

El método más efectivo de control sigue siendo el de disminuir el nivel de agua y aprovechar el momento para efectuar una fertilización nitrogenada dado que esta metodología elimina muchas larvas e impide nuevas posturas, aunque debe considerarse el costo y la disponibilidad de agua para la reposición.

Chinche grande del tallo (*Tibraca limbativentris*, Stal)

Esta plaga puede ser encontrada en la fase vegetativa y reproductiva provocando muerte de plántulas, macollos y provocando espigas blancas por vaneo. Atacan los macollos a nivel del suelo perforándolos e impidiendo su desarrollo y la circulación de savia. Los adultos son chinches de color marrón que pasan el invierno como ninfas en hospedantes alternativos restos vegetales o montículos de troncos (Fig. 26.5). Cuando se inicia el cultivo y la planta tiene unos 30cm invaden el cultivo succionan los macollos produciendo el daño de “corazón muerto” por muerte de la hoja central. Durante la fase reproductiva un adulto puede provocar la pérdida de tres macollos en un periodo de 15 días. Su incidencia es mayor en ataques durante la fase reproductiva ya que disminuyen la cantidad de grano por vaneo o producen granos enyesados o inmaduros que son castigados. Además del control ya descrito existen factores culturales que inciden sobre la plaga, altas densidades facilitan el abrigo y dificultan el control químico

Chinche chica del grano (*Oebalus poecillus*)

En ataques intensos puede producir daño importante en la calidad del arroz. El nivel del daño dependerá de la cantidad de insectos y del momento del desarrollo del grano. Si el grano está en estado lechoso, puede quedar vano. Con endosperma pastoso puede dar lugar a granos enyesados, con manchas oscuras (“*pecky rice*”) castigado en el estándar como grano manchado (Prando, 2002).

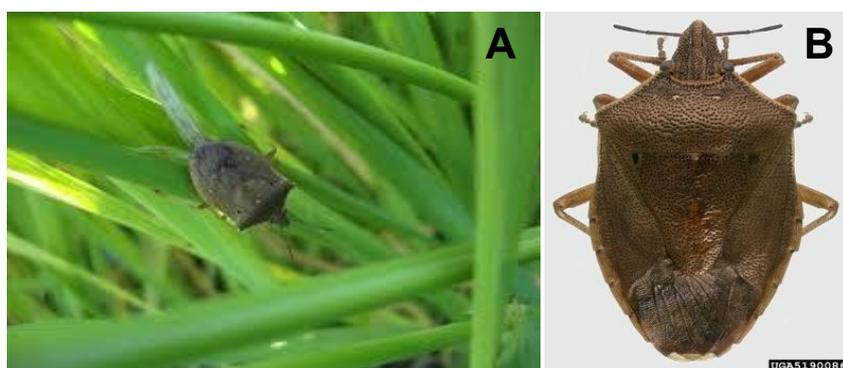


Figura 26.5. Adulto de *Tibraca limbativentris* sobre hojas de arroz. B. Adulto de *T. limbativentris*
Fuente: Propia y Wright (2007a) respectivamente



Figura 26.6. **A.** Adulto de *Oebalus poecilus* sobre panojas de arroz. **B.** Adulto de *O. poecilus*.
Fuente: Propia y Wright (2007b) respectivamente

Las ninfas son de coloración general oscura con abdomen amarillo con manchas negras (Fig. 26.6). Los adultos son de color marrón claro con manchas amarillas en el dorso del tórax y los élitros. Las chinches migran a la arrocera cuando aparecen los primeros granos lechosos, probablemente antes se alimenten de granos de capín que crecen en los canales. Tienen un hábito de enjambre a partir de la primera generación principalmente en la época de postura. El control de esta plaga puede ser dificultoso sobre todo en pequeñas superficies.

Daños producidos por pájaros

Las aves más perjudiciales para el arroz son los negros y los patos. Los primeros producen daños en la emergencia y en grano lechoso en adelante, mientras que los patos en la emergencia.



Figura 26.7. Tordo (*Molothrus bonariensis*). Fuente: Metrix (2010)

Los factores que inciden en su desarrollo son: proximidad de montes, variedad de arroz, clima y algunas prácticas culturales. Durante la siembra aprovechan los granos que quedan en superficie e incluso desentierran los granos de la hilera. Su daño es mayor aún en siembras al voleo. A partir de grano lechoso y hasta madurez, quedando el raquis desnudo. Si bien no existe una medida efectiva de control, algunas prácticas de manejo como ser sembrar en línea, en época, cosechar en término, mantener la chacra y aéreas adyacentes libres de malezas y eliminar los granos de arroz del campo luego de la cosecha, pueden contribuir a disminuir su incidencia. Dentro de los aspectos varietales como el porte, la disposición de la panoja, la pilosidad del grano, dificultad de desgrane contribuyen a un mejor comportamiento. (Rodríguez, 1994; 1995) (Fig. 26. 7)

Patos

Existen numerosas especies que afectan al cultivo sobre todo en la siembra, emergencia y estado de plántula. El problema suele agravarse en primaveras lluviosas o cuando se dan baños para favorecer la emergencia porque al haber escaso desarrollo de biomasa, los patos son atraídos por los espejos de agua y desentierran los granos en la línea de siembra e incluso desentierran plántulas para comer el resto de granos.

Bibliografía

- Arroz Irrigado. (1993). *Recomendacoes técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. XX Reuniao da cultura do arroz irrigado. Embrapa, Pelotas, Insetos e pragas". pp 37-54.
- Atkins J.G. (1972). "*Rice diseases*". Farmer's Bulletin 2120, US department of Agriculture. Washington DC, pp 50-55
- Brown S.L. (1990). *Lesser cornstalk borer (Elasmopalpus lignosellus) Larva(e) on peanut*. University of Georgia. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1432005> Último acceso: Junio de 2015.
- Cardona-Duque J. (2010a). *Rice water weevil (Lissorhoptrus oryzophilus) Adult(s)*, University of Puerto Rico. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5411441> Último acceso: Junio de 2015.
- Cardona-Duque J. (2010a). *Rice water weevil (Lissorhoptrus oryzophilus) Adult(s)*, University of Puerto Rico. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=54114410> Último acceso: Junio de 2015
- Clemson University. (2003). *Fall armyworm Spodoptera frugiperda* - USDA Cooperative Extension Slide Series, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1235062> Último acceso: Junio de 2015.

- Dreiling M. (2012). *Lesser cornstalk borer (Elasmopalpus lignosellus)* Adult(s). Retired. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5470527> Último acceso: Junio de 2015.
- Ferreira E, Zimmermann F.J.P., Santos A.B. & Neves B.P. (1997). *O percevejo-do-colmo na cultura do arroz*. Goiania: EMBRAPA-CNPQ. (EMBRAPA-CNPQ. Documento,75). 43pp
- Gamarra G. (1990). *Plagas*. En ARROZ, Manual de Producción. Edit. Hemisferio Sur. pp 327-342.
- Hummel N. (2008). *Rice water weevil (Lissorhoptrus oryzophilus)* Damage on rice Louisiana State University AgCenter. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5384472> Último acceso: Junio de 2015.
- Lambert W. (1996). *Fall armyworm Spodoptera frugiperda* University of Georgia, Bugwood.org. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1673028> Último acceso: Junio de 2015.
- Metrix B. (2010). *Molothrus bonariensis* Barbados. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Molothrus_bonariensis_Barbados.jpg Último acceso: Junio de 2015
- Pest and Diseases Image Library. (2012). *Sugarcane borer (Diatraea saccharalis)* Adult(s). Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5465377> Último acceso: Junio de 2015.
- Prado H. F. (2002). *Manejo de plagas em arroz irrigado, en Arroz Irrigado*. Sistema pre-germinado. 175-201
- Ribeiro A. (1984) *“Doenças do Arroz Irrigado*. Circular técnica nº 19. EMBRAPA pp 20-25
- Rice production handboock Cooperative Extension Service, Univ of Arkansas, USDA, 1990 MP 192. 59 pp
- Rodriguez E. (1995) *“Manejo de aves plagas en el cultivo de arroz”*, en “Arroz. Resultados experimentales 1993-94 y 1994-95, tomo II. INIA pp 24-28
- White W. (2003). *Sugarcane borer (Diatraea saccharalis)* Adult(s). Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1324047> Último acceso: Junio de 2015.
- Wright N. (2007a). *Rice stink bug (Tibraca limbativentris)*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5203078> Último acceso: Junio de 2015.
- Wright N. (2007b). *Stink bug (Oebalus poecilus)*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5190086> Último acceso: Junio de 2015.

CAPÍTULO 27

Arroz: Manejo de malezas

Rodolfo Bezus

Malezas

En el cultivo de arroz las malezas que crecen asociadas con el cultivo, son la mayor limitante para la producción en distintas regiones del mundo (Moody, 1981; Ormeño, 1983; Bastianns, 2000; Sabattini *et al.*, 2000).

La importancia de las malezas y las malezas predominantes dependen de numerosos factores como: latitud, altitud, temperatura, rotaciones, método de siembra, manejo del agua, nivel de fertilidad y tecnología aplicada para su control (Smith & Moody 1979; Smith, 1983).

Las malezas y sus consecuencias han sido estudiadas en gran cantidad de países y bajo diversas modalidades de cultivo. En India, la caída de los rendimientos debida a las malezas fue estimada en un 10% (De Datta, 1980). En Filipinas se estimaron pérdidas de 11% para la estación seca y 13% para la húmeda. En USA se reportan pérdidas de 15% en rendimiento y calidad. (Smith *et al.*, 1977). A nivel mundial las pérdidas causadas por las malezas que escapan al control en el arroz representan un 10% de la producción (Ampong-Nyarko & De Datta, 1991). Estas cifras nos dan la pauta de pérdidas importantes en sistemas productivos muy disímiles. Las pérdidas, encontradas en Argentina, Brasil y Perú, pueden variar entre 35 y 70 % (Fernández, *et al.*, 1990), si bien se presentan casos más extremos con pérdidas de hasta el 90 % en grano por competencia con *Echinochloa colonum* (Sabattini *et al.*, 2000).

La instalación y supervivencia de las comunidades de malezas en un agroecosistema arrocero tiene lugar en distintos hábitats, lo que permite encontrar desde algas (uni o pluricelulares) hasta plantas acuáticas (flotantes libres o arraigadas), plantas palustres emergentes y plantas terrestres.

Respecto al tipo de malezas encontramos plantas de ciclo anual y perenne, con distintos mecanismos de dispersión y perpetuación (semillas, rizomas, estolones). En forma general, se encuentra un mayor número de especies y familias representadas en los 'domos' y 'taipas' que en los paños (San Martín & Ramírez, 1983). Los canales son también hábitat donde se encuentra un gran porcentaje de especies que luego se diseminan hacia los cuadros.

Además de las pérdidas de rendimiento deben considerarse otros efectos que ellas producen como el incremento en los costos de producción, su actuación como hospedantes

de plagas y enfermedades, el deterioro de la calidad del grano cosechado y el costo social que implica. (Fischer & Antigua, 1994).

Los herbicidas si bien han contribuido mucho en la eficiencia del manejo de las malezas, también han causado problemas. Residuos de herbicidas provenientes del cultivo de arroz se detectaron en aguas subterráneas y ríos afectando incluso las fuentes de agua potable.

Asimismo se citan numerosos casos de daños a cultivos sensibles por efectos de derivas en todas las áreas arroceras (Smith *et al.*, 1977). A lo anterior debe sumarse los casos cada vez más frecuentes de resistencia de las malezas a los herbicidas, siendo la resistencia del capín (*Echinochloa colona*) al propanil un ejemplo de gran importancia asociado al cultivo de arroz.

Las malezas pueden ocasionar hasta el 20% de pérdidas de cosecha (PANS, 1980) y en Latinoamérica su control representa un 20% del costo total de producción siendo, junto a la fertilización y la cosecha las operaciones más costosas. En la actualidad, las malezas superan como problema a las otras adversidades bióticas y provocan un costo social que genera, limitaciones en la superficie cultivada debido a los costos y el tiempo que insume su control y además un incremento de los riesgos hacia el ambiente y la salud humana por el alto consumo de herbicidas.

En los sistemas de cultivo en clima templado altas dosis y múltiples aplicaciones son necesarias para alcanzar el rendimiento potencial de los cultivares. Si bien se han producido importantes avances en las prácticas culturales y en la tecnología de los herbicidas en las últimas décadas las malezas siguen siendo un grave problema. Se citan más de 150 géneros y 350 especies pertenecientes a 60 familias como malezas en el cultivo de arroz. Las especies de las familias Poaceas y Cyperaceas figuran como las más importantes. (Smith, 1983).

El número de malezas en cultivo de arroz puede variar desde unas pocas especies (5-6) hasta varias decenas. Ahumada (1986) registró 106 especies como malezas en un relevamiento en la provincia de Corrientes (Argentina). Lallana, 1999 detectó la presencia de 125 especies, de las cuales 41 fueron citadas como más frecuentes para Sudamérica y 37 para la provincia de Entre Ríos (Sione, 1995). Si bien el número de malezas asociadas al cultivo es alto, sólo unas pocas especies son muy agresivas y ocasionan pérdidas significativas de rendimiento.

Las especies más frecuentes en Latinoamérica (González *et al.*, 1985, Lallana, 1989) son: *Oryza ruffipogon* (Fig. 27.1), *Echinochloa colonum* (Fig. 27.2), *E. crusgalli* (Fig. 27.2), *E. cruspavonis*, *Digitaria sanguinalis* (Fig. 27.3), *Eleusine indica* (Fig. 27.3), *Eclipta alba*, *Brachiaria platyphylia* (Fig. 27.4), *Aeschinomenes sp.*, *Paspalum sp.*, *Polygonum sp.*, *Cyperus* spp. (Figs 27.4 y 27.5), *Sagittaria montevidensis* (Fig. 27.5), *Jussiaea repens*, *Eleocharis sp.*, *Alternanthera philoxeroides* (Fig. 27.6), *Portulaca oleracea* y *Sida rhombifolia*. En Entre Ríos, Sione, (1995) agrega: *Ludwigia peploides* (Fig. 27.6), *Cynodon dactylon* (Fig. 27.7) *Luziola peruviana* (Fig. 27.7), *Leersia hexandra* y *Polygonum persicaria* y Sabattini *et al.* (1998a), a: *Panicum berggii*, *Brachiaria extensa*, *Amaranthus quitensis*, *Ipomoea* spp, *Solanum* spp., *Brassica campestris*, *Xanthium* spp. y *Polygonum convolvulus*. Se estima que son 29 las especies registradas como más frecuentes para los cultivos de arroz de Entre Ríos.

Las relaciones de competencia cultivo-maleza que se establecen en cada sistema de cultivo, región, tipo de cultivares y nivel tecnológico, son diferentes, por lo que es necesario su estudio en cada sistema y los modelos encontrados deben ser periódicamente convalidados a través de ensayos.

Dentro de las especies mencionadas las consideradas más importantes para el cultivo son el arroz rojo (*Oryza ruffipogon*) y los capines (*Echinochloa* spp.). Las especies del género *Echinochloa* más importantes en el cultivo son *E. crus-galli* y *E. colona* y se consideran como dos de las cuatro malezas de mayor importancia en el mundo. (Holm *et al.*, 1997; Moody, 1991).

En Argentina existen variaciones en las malezas predominantes según la zona de producción, siendo el arroz rojo más importante en las zonas subtropicales.

Por otro lado la conducción del cultivo inundado da lugar a la existencia de especies acuáticas, palustres con hábitos anuales y perennes (Sabatini *et al.*, 2004; Lallana, 2005).

El manejo de malezas en el arroz debe abarcar una diversidad de medidas tendientes a disminuir su impacto. Así, las rotaciones y labranzas oportunas y adecuadas, el manejo adecuado del agua de riego, densidades adecuadas de plantas entre otras deben planificarse cuidadosamente (Lockett, 1992).

Para el manejo integrado, el concepto de diversificación en un sentido amplio debe ser considerado ya que el uso repetido de los mismos métodos de control no resulta sostenible a largo plazo y hacen surgir problemas como resistencia y cambios en las malezas que son claves como es el caso de los problemas con malezas acuáticas cuando se trabaja con la inundación para el control de las que no lo son. La diversificación a través de la rotación de cultivos y el uso de distintas alternativas de manejo de las malezas pueden contribuir a lograr un sistema de cultivo sustentable (Fischer, 1996).

La disponibilidad de cultivares con buena habilidad competitiva adquiere una importancia primaria (Bastianns & Kropff, 2000). La utilidad de variedades competitivas dentro de un enfoque de manejo integrado de malezas no debe verse solamente como un recurso más, sino que debe reconocerse su aplicabilidad para complementar a la mayoría de las estrategias de manejo.

Interferencia de las malezas

La presencia de malezas produce daños directos e indirectos. Los daños directos resultan de la interferencia de la maleza sobre el cultivo.

La interferencia es el efecto de las diferentes interacciones negativas y comprende competencia, alelopatía y parasitismo. Los daños indirectos se relacionan a efectos que incrementan los costos de producción y deterioran la calidad. Los costos de control de malezas en la producción de América Latina se han estimado en un 22% de la producción siendo junto a la fertilización los rubros más costosos (Fischer & Ramirez, 1993b). Otro

aspecto relacionado a los efectos indirectos es el rol de las malezas como plantas hospederas de insectos fitófagos y agentes patógenos. Se han mencionado efectos de hospedero a *Luziola* spp. para el gorgojo acuático y a *Echinochloa colona* como hospedera del virus de la hoja blanca y uno de sus vectores como también del hongo *Pyricularia grisea* (Páez *et al.*, 1992).

Los efectos indirectos sobre la cosecha y la calidad del grano son importantes en este cultivo produciendo desde el vuelco como el caso de malezas muy voluminosas como *Sesbania* spp., *Ludwigia* spp. y *Aeschynomene* spp. hasta incrementos de la humedad como el caso de *Ipomea* spp. La contaminación de los granos cosechados con semillas de malezas como *Ischaemum rugosum* y el *Oryza ruffipogon* reducen el valor de la producción generando la necesidad de procesar el grano para su limpieza.

En muchos casos la importancia que adquieren algunas de estas malezas produce costos sociales como la pérdida de valor de los campos, la pérdida de eficacia de herbicidas por resistencia y efectos negativos del uso de herbicidas que no están muy claros.

El sistema de cultivo inundado crea un ambiente propicio para que las malezas acuáticas se transformen en un problema sobre todo en donde se practica el monocultivo.

La competencia es el proceso el cual las plantas comparten recursos como agua, luz y nutrientes que se encuentran en cantidades insuficientes para los requerimientos de esas plantas. El período crítico de competencia se lo ha situado en la etapa de macollaje, entre los 15 y 45 días desde la emergencia (Moody, 1996; Cobucci *et al.*, 2001). Precisar el período crítico requiere de poder definir la habilidad competitiva del cultivo, la composición específica y densidad y características de las malezas e integrarlos con las prácticas culturales y las condiciones ambientales.



Figura 27.1 Arroz colorado (*Oryza ruffipogon*). Fuente: Propia

La inundación es restrictiva para la germinación de semillas e inhibe el crecimiento de las malezas (Singh, 2008), siendo el riego una estrategia clave para el manejo de malezas. Muchas malezas presentes en este cultivo están adaptadas a crecer y propagarse en suelos inundados lo que hace necesario el control por otros métodos. La complementación entre el uso de herbicidas, su residualidad y la inundación suelen ser eficaces para el manejo. Sin embargo son frecuentes los desajustes en este manejo lo que permite escapes sobre todo de las malezas claves del cultivo.

Un manejo planificado de malezas incluye rotaciones o controles tempranos luego de la cosecha, prácticas de menor remoción incluida la siembra directa, cultivos de cobertura y laboreo anticipado.

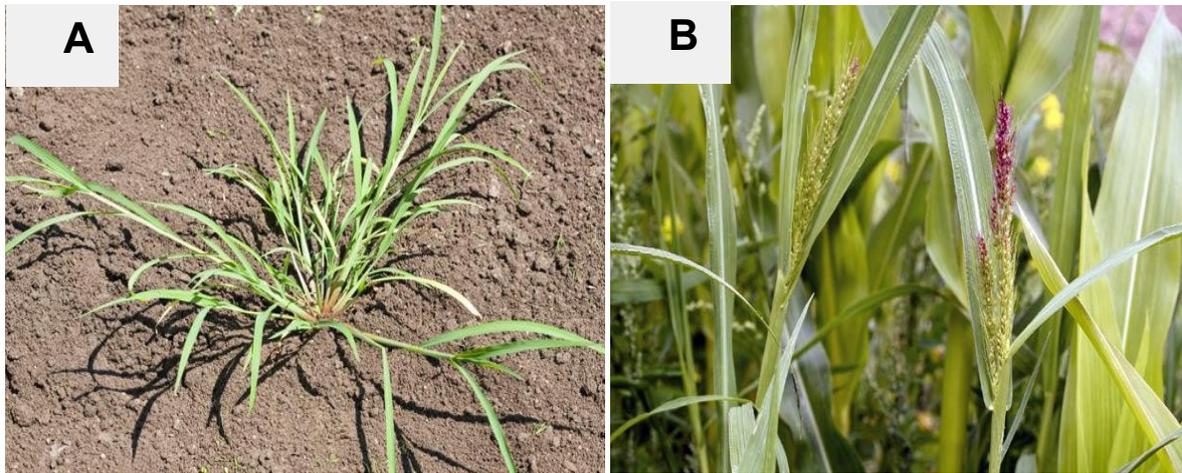


Figura 27.2. **A.** Capín (*Echinochloa coloum*). **B.** Capín (*E. crusgalli*). Fuente: Propia

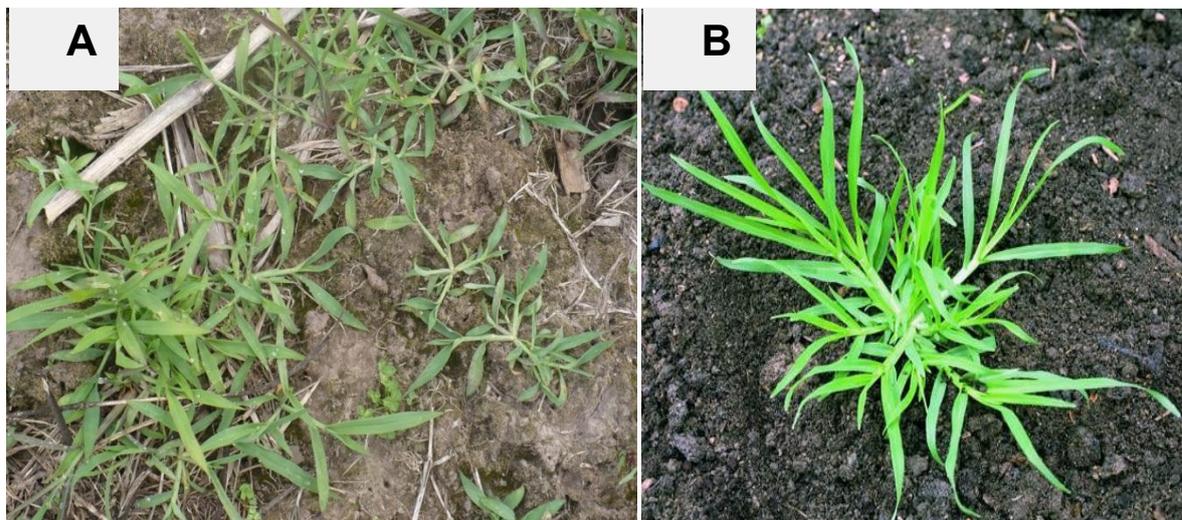


Figura 27.3. **A.** Pata de gallina (*Digitaria sanguinalis*). **B.** Pata de ganzo (*Elusine indica*). Fuente: Propia

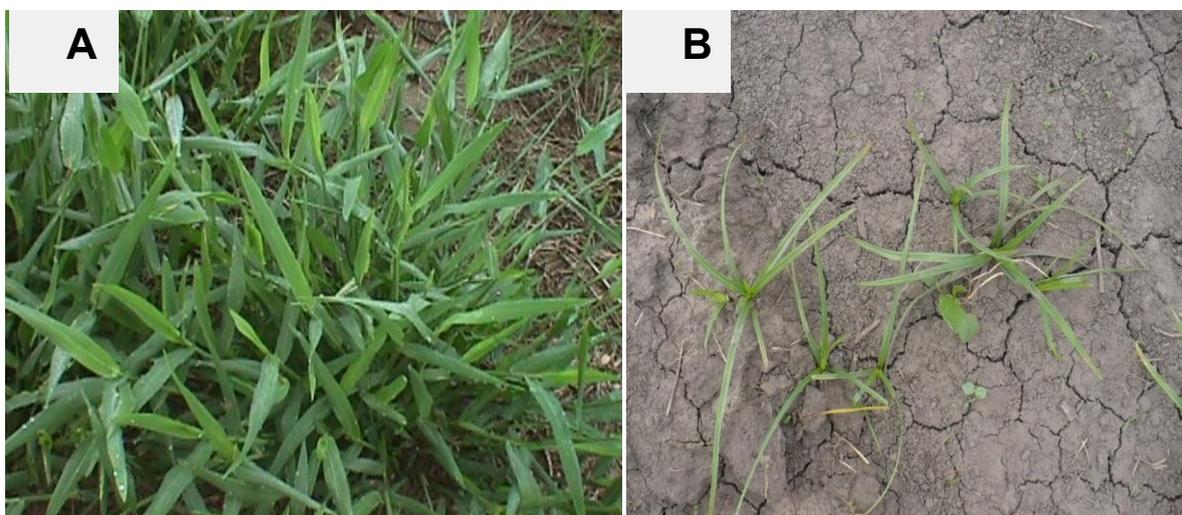


Figura 27.4. **A.** Brachiaria (*Brachiaria platyphila*). **B.** *Cyperus sculentus*. Fuente: Propia

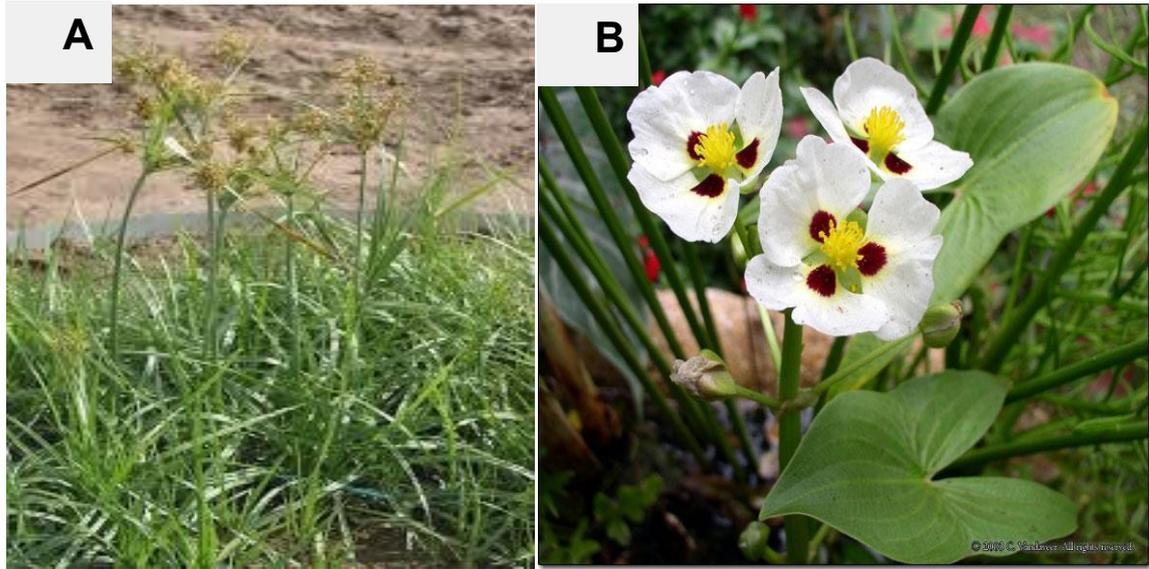


Figura 27.5. A. *Cyperus difformis*. B. *Sagitaria montevidensis*. Fuente: Propia

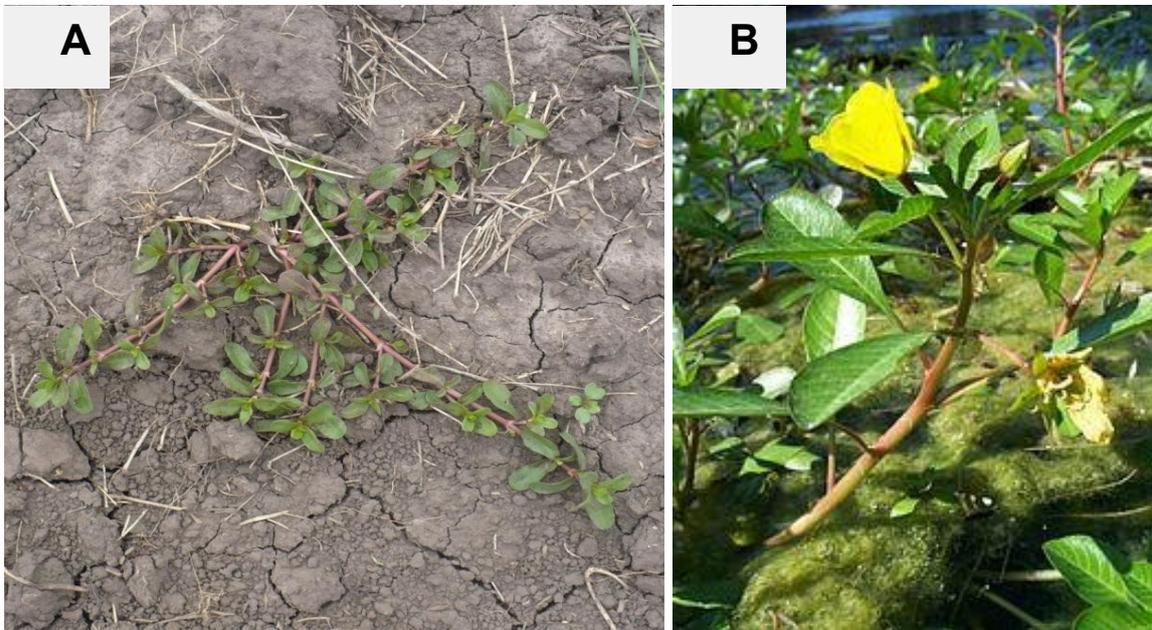


Figura 27.6. A. *Alternanthera philoxeroides*. B. *Ludwigia peploides*. Fuente: Propia

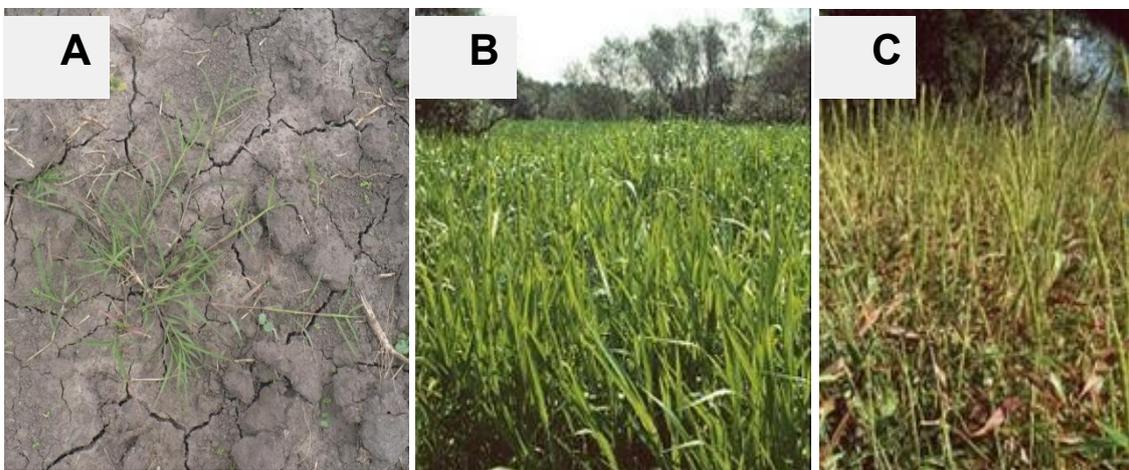


Figura 27.7. A. Gramilla (*Cynodon dactylon*). B. *Luziola peruviana*. Fuente: Propia

Métodos de manejo

Un adecuado manejo de malezas en arroz debe incluir la prevención, manejo cultural y los controles mecánico, químico y biológico.

Prevención

El objetivo de las prácticas incluidas en este concepto es evitar o reducir la infestación de malezas que son económicamente perjudiciales. Su aplicación se basa en el conocimiento de los procesos de reproducción y diseminación para prevenirlos y evitarlos. Para su aplicación son requeridas distintas prácticas que involucran el uso de semilla libre de malezas, cuidados con la ropa de los trabajadores y la maquinaria, organización en el manejo de los animales de pastoreo, rotaciones de cultivos y herbicidas, mantenimiento de canales y taipas entre otras.

Manejo cultural

Son prácticas que tienen como objetivo favorecer la competencia del cultivo con las malezas especialmente en las etapas iniciales.

La rotación de cultivos permite cambiar radicalmente el ambiente de cultivo y utilizar diferentes herbicidas en momentos diferentes. El manejo de lotes infestados con arroz rojo requiere inevitablemente el planteo de rotaciones junto a otras prácticas para reducir los niveles poblacionales.

Otras prácticas culturales de utilidad son las referidas a las correctas decisiones de manejo del cultivo como son adecuadas épocas y densidades de siembra del cultivo en relación al cultivar, una adecuada sistematización del terreno para una adecuada inundación y el sistema de siembra que en arroz puede ser en suelo seco o inundado con semilla pregerminada. Además en este cultivo el adecuado manejo del riego por inundación representa una práctica central en el momento de establecer las pautas del manejo de malezas.

Control biológico

El uso de aves y peces en el barbecho puede ser una técnica para reducir el número de semillas de malezas que no es muy aplicado en nuestro país.

Control mecánico

Este tipo de control en la actualidad tiene importancia en el barbecho de lotes preparados de forma convencional. La preparación del suelo permite reducir el banco de semillas del suelo. En el sistema de cultivo de nuestro país no se realizan controles mecánicos sobre el cultivo implantado salvo en algunas producciones de pequeña escala.

Por otro lado el avance de la siembra directa reduce más este tipo de labores.

Control químico

Es el método más utilizado y por tratarse de productos químicos en un sistema de cultivo con diferencias marcadas con los tradicionales debe ponerse énfasis en la realización de prácticas adecuadas que permitan alcanzar la máxima eficiencia, el mínimo impacto ambiental y evitar la ocurrencia de malezas resistentes.

En el sistema de cultivo de arroz, el uso de herbicidas debe complementarse con el resto de las técnicas de manejo y en especial el manejo de la inundación pero en el cultivo de grandes superficies resulta imprescindible.

Los herbicidas en el cultivo de arroz pueden ser aplicados en los mismos momentos que en otros cultivos aunque deben tomarse algunas precauciones especiales que definen su eficacia y reducen el impacto ambiental.

Según la época de aplicación tenemos la siguiente clasificación:

Pre-siembra. Estos herbicidas se aplican para lograr la implantación en sistemas de siembra directa o con labranza mínima. Se utilizan por lo general herbicidas no selectivos sobre la cobertura vegetal que pasan a constituir una cobertura muerta. Los herbicidas más utilizados en estos casos son el glifosato y algunas imidazolinonas en caso de sembrar cultivares resistentes a este grupo de herbicidas.

Pre-emergencia. Se utilizan estos herbicidas cuando se siembra en suelos labrados aunque también en casos de siembra directa. Se aplican luego de la siembra hasta el inicio de la emergencia. La eficacia de estas aplicaciones es muy dependiente de las condiciones ambientales, sobre todo la humedad del suelo que active la germinación del banco de malezas. Son herbicidas que poseen residualidad y permiten llegar sin malezas a la inundación o al momento en que se pueden aplicar herbicidas post-emergentes. Los más utilizados de este grupo son: clomazone, pendimetalín, oxifluorfen y penoxulan, teniendo cada uno un espectro diferente de control. En caso de sembrar cultivares resistentes se pueden utilizar herbicidas del grupo de las imidazolinonas. Una modalidad especial de aplicación es el uso de herbicidas totales como el glifosato cuando la semilla esta germinada pero no emergida (punto aguja) y permite controlar malezas de rápida implantación sean anuales o perennes.

Pos-emergencia. Estos herbicidas se aplican después de la emergencia del cultivo y las malezas, comúnmente antes de la inundación, aunque algunos herbicidas se adaptan a aplicaciones post-inundación. La aplicación a su vez puede ser temprana cuando se aplica sobre malezas pequeñas de dos o tres hojas o tardía en etapas más avanzadas de desarrollo. Estos dos momentos presentan diferencias en la eficacia de control, los herbicidas utilizados y las dosis aplicadas.

Las aplicaciones tardías y las que se realizan luego de la inundación buscan reducir la competencia y la reproducción de las malezas presentes. En este grupo de herbicidas encontramos los que controlan gramíneas, latifoliadas y otros con efecto en ambas. Para el control de latifoliadas se utilizan herbicidas como el bentazón, metsulfurón y 2,4-D. Algunos

como bispiribac-sodio, penoxulan, pirasulfuron y los del grupo de las imidazolinonas controlan especies gramíneas y latifoliadas. Para el control de gramíneas existen varios herbicidas siendo los más utilizados en la actualidad cihalofop-butil, profoxdim, fenoxaprop-p-étilico, propanil y quinclorac. Para el control de cyperaceas se aplica bentazón, bispiribac-sodio, penoxulan, fenoxaprop y pirasulfurón e imidazolinonas.

Manejo del arroz rojo

Los graves problemas que ocasiona esta maleza se relacionan a que es frecuentemente sembrado con la semilla, posee dehiscencia y larga longevidad en el banco de semillas. A esto se debe sumar la dificultad para el control químico, y últimamente la aparición de resistencia a herbicidas. Por todo esto se han dispuesto una serie de recomendaciones de manejo que se detallan a continuación.

Uso de semillas libres de la maleza. Es fundamental para no llevar la maleza a lotes limpios ya que haciendo el cálculo de una semilla de la maleza cada 500 g de semilla de arroz representará una infestación de 60 semillas de arroz salvaje por metro cuadrado en la próxima siembra si se considera una densidad de 120 kg.ha⁻¹ y el 50 % de las semillas de la maleza son recolectadas.

Siembra directa. Permite evitar traer semillas de la maleza por laboreo. La siembra directa luego de un cultivo invernal que puede ser forrajero y es tratado con herbicida antes de sembrar arroz es una alternativa ya que el tapiz de forraje interfiere con las plantas de la maleza.

Siembra por sistema pre-germinado La siembra de semillas pre-germinadas en suelos inundados permite suprimir la emergencia del arroz rojo. Consiste en preparar el suelo para crear condiciones que favorezcan la germinación de las semillas del banco y mediante varias labores reducirlas sensiblemente. Luego se nivela y se mantiene el suelo saturado. En esas condiciones se siembra manteniendo el suelo inundado lo que impide la germinación de las malezas.

Uso de variedades resistentes a herbicidas. En la actualidad las variedades resistentes a imidazolinonas ofrecen una alternativa de control que ha revolucionado el manejo de esta maleza. Con estos herbicidas se logra un adecuado control aunque deben tomarse precauciones para evitar la aparición de resistencia en las malezas.

Rotaciones. Las rotaciones permiten reducir las poblaciones de la maleza por efecto del cambio de ambiente de suelo inundado a seco y por brindar la oportunidad de rotar herbicidas, técnicas y momentos de la realización de prácticas de manejo y laboreo

Manejo del suelo durante el barbecho Para manejar el banco de semillas del arroz rojo es recomendable evitar el laboreo profundo del suelo para que no se produzca la incorporación de semillas en profundidad. Mantener las semillas cerca de la superficie permite que un porcentaje germine o pierda la dormición teniendo en cuenta que un bajo porcentaje de semillas que quedan en los primeros 5 cm del suelo conserva viabilidad por más de 12 meses.

Bibliografía

- Ahumada H. (1986). *Malezas del cultivo de arroz en la Provincia de Corrientes*. Gaceta Agronómica, 6(33): 470-483.
- Ampong-Nyarko K. & De Datta S.K. (1991). *A handbook for weed control in rice*. International Rice Research Institute, Manila, Filipinas. pp 204-206.
- Arroz Irrigado. (2012). *Recomendaciones Técnicas de la investigación para el sur de Brasil*. Epagri - Embrapa, IRGA, UFPel, UFRGS, UFSM Itajaí, SC.
- Bastians L., Kropff M.J., Kempuchetty N., Rajan A. & Migo T.R.. (1997). *Can simulation help design rice cultivars that are more competitive against weeds*. Field Crop Research 51:101-111.
- Cobucci T., Rabelo R.R. & Da Silva W. (2001). *Manejo de plantas daninhas na cultura do arroz de terras altas na Região dos Cerrados*. Circular Técnica on line. EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. San Antonio de Goiás. Brazil. pp 104-106.
- De Datta S.K. (1980). *Weed control in rice in South and Southeast Asia*. Food and Fert. Tech. Center. Ext. Bull. 156. Taipei City, Taiwan. 24pp.
- Fischer A.J. & Antigua G. (1996). *Weed management for rice in Latin America and the Caribbean*. In Weed management in rice. B. Auld and K.U. Kim (de.). FAO. Rome. pp. 157-179.
- Fischer A.J., Granados E. & Trujillo. (1993). *Propanil resistance in populations of junglerice (Echinochloa colona) in Colombian rice fields*. Weed Sci. 41: 201-206.
- Fischer A.J. & Ramirez A. (1993). *Mixed-weed infestations: Predictions of losses for economic weed management in rice*. Journal Pest Manage. 39(3): 354-357.
- Gamarra G. (1996). *Malezas*. En: Arroz. Manual de Producción. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo. Uruguay. Cap VIII. pp 227-291.
- González J., Arregoces O. & Escobar E. (1985). *Principales malezas en el cultivo de arroz en América Latina*. En ARROZ: Investigación y producción CIAT, Cali, Colombia. Cap. VII pp 419-444.
- Gonzalez J., García E., & Perdomo M. (1983). *Important rice weeds in Latin America*. Conference on Weed Control in Rice. Proceedings. IRRI, International Rice Research Institute. Los Baños, Laguna, Filipinas. 422 pp.
- Holm L.G., Plucknett D.L., Pancho J.V. & Herberger J.P. (1977). *The world's worst weed*. Distribution and biology. Honolulu University Press of Hawaii, 609 pp.
- Labrada R. & Parker C. (1996). *El control de malezas en el contexto integrado del manejo de plagas*. En: Manejo de malezas para países en desarrollo. Estudio FAO Producción y

- Protección Vegetal – 120. (Ed. R. Labrada, J.C. Caseley & C. Parker). Departamento de Agricultura. FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp 265-269.
- Labrada R. (2004). *Tendencias actuales en el manejo de malezas*. En: Manejo de malezas para países en desarrollo. Addendum I. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal – 120. Add. 1 (Ed. R. Labrada). Departamento de Agricultura. FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp 107-111.
- Lallana V. H. (1989). *Malezas del arroz en Sudamérica*. Rev. Facultad de Agronomía, UBA.10(1-2):87-94.
- Lallana V. H. (2005). *Lista de malezas del cultivo de arroz en Entre Ríos, Argentina*. Ecosistemas 14 (2): 162-167.
- Moody K. (1991). *Weed control in upland rice with emphasis on grassy weeds*. F.W.G. Baker & P.J. Terry, eds. Tropical Grassy Weeds. Wallingford, U.K: CAB International for CASAFA pp.164-178.
- Moody K. (1996). *Manejo de malezas en cereales*. En: Manejo de malezas para países en desarrollo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal – 120. (Ed. R. Labrada, J. C. Caseley; C. Parker). Departamento de Agricultura. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.pp 31-33.
- Ormeño N.J. (1983). *Prospección de las principales malezas asociadas al cultivo de arroz (Oryza sativa L.)*. AgriculturaTécnica (Chile). 43(3): 285-287.
- Pans. (1980) *Centre for Overseas Pest Research*. Control de las plagas del arroz. Hemisferio Sur, R.O. Uruguay. 367 pp.
- Sabattini R., Sione S., Dorsch F., Lallana V. & Anglada M. (2005). *Las malezas y su control en el cultivo de arroz en Entre Ríos*. En: El arroz. Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. UNER. Concepción del Uruguay. Argentina. Vol I. (2). pp. 251-257.
- Sabattini R. A., Dorsch A. F. & Lallana V. H. (2001). *Estudio comparativo de las comunidades vegetales de los arrozales y de los ambientes acuáticos y palustres de Entre Ríos (Argentina)*. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 104(2):129-137.
- Sabattini R.A., Sione S. M. J., Anglada M. M. & Del Porto A. (2000). *Estimación del rendimiento del cultivo de arroz (Oryza sativa L.) según dos condiciones de competencia con malezas*. Revista FAVE, 14 (1): 55-65.
- San Martín J.M. & Ramírez G.C. (1983). *Flora de malezas en arrozales de Chile central*. Ciencia e Investigación Agraria 10(3): 207-222.
- Singh G. (2008). *Integrated weed management in direct-seeded rice*. Y. Singh, V.P. Singh, B. Chauhan, AS.M. Mortimer, D.E. Johnson & B. Hardy editors. Direct seeding of rice and weed management in the irrigated rice-wheat cropping system of the Indo-Gangetic Plains. Los Baños. (Philippines): International Rice Research Institute and Pantnagar (India): directorate of Experiment Station, G. B. Pant University of Agriculture and Technology. 272 pp.

- Sione S.M.J. (1995). *Catálogo de plantas acuáticas y palustres de áreas de arrozceras de Entre Ríos*. Primera aproximación. Trabajo Final de Graduación. Facultad Ciencias Agropecuarias, UNER. 102 pp.
- Smith R.J., Jr. (1983). *Weeds of major economic importance in rice and yield losses due to weed competition*. In *Weed control in Rice*. Editors IRRI Manila, Philippines. IRRI. pp. 19-36.
- Smith R.J., Flinchum W.T. & Seaman D.E. (1977). *Weed control in U.S. rice production*. *United States Department of Agriculture Handbook 497*. United States Government Printing Office: Washington, D.C. pp 110-111.

CAPÍTULO 28

Arroz: Zonas de cultivo

Alfonso Vidal

El área arrocera Argentina puede dividirse en dos zonas (Aranguren, 1998):

Litoral Sur: Entre Ríos

Litoral Norte: Corrientes, Chaco, Formosa, Santa Fe

Litoral Sur

El área se ha ubicado tradicionalmente en la costa oeste entre los ríos Uruguay y Gualeguay, desde el norte del departamento de Gualeguaychú en el límite sur, hasta el departamento Moreira en el norte de Concordia. Esta disposición y la concentración de la superficie sembrada mantiene una relación directa con la disponibilidad de agua de pozo (perforaciones profundas), utilizadas mayoritariamente para el riego. Los extremos norte y oeste de la región han variado su superficie sembrada de acuerdo con la relación de precios entre el cereal y el combustible, dado que los pozos en esta región son de menor caudal, por lo que exigen mayor consumo de combustible por unidad de superficie. La mayor concentración se ubica en un triángulo formado por las localidades de San Salvador, Colón y Villaguay. En los últimos años se ha desarrollado el cultivo en función de las represas, sobre todo en la zona norte de esta región (Concordia, Feliciano y Chajarí)

Clima

El área arrocera tradicional se encuentra en una región de clima templado húmedo de llanura. Las temperaturas medias van desde los 17,5°C a los 19°C, con medias del mes más cálido de 25 a 26°C y medias del mes más frío entre 11 a 12°C. El número de días con heladas tiene su máximo en la zona central con 14. La humedad relativa de la zona es alta con una media de 73%, que alcanza valores mínimos en enero y febrero con 61%. Las precipitaciones medias disminuyen en forma gradual de NE a SO desde los 1200 a los 900 mm. La distribución es 73% primavera - estival y 27% otoño – invernal. Según balances hídricos realizados por EEA INTA Paraná, las probabilidades de déficit hídrico son superiores al 50% durante noviembre, 70% en diciembre, 58% en enero y 72% en febrero.

Las probabilidades de excesos importantes ocurren durante septiembre (46%) y octubre (49%), siendo el resto del año tan probable el déficit como el exceso o el equilibrio.

Suelos

Los suelos sobre los que se realiza el cultivo comparten, con la mayoría de los suelos de la provincia, su característica de altos contenidos de arcillas expansivas, que los hacen muy difíciles de laborear, especialmente por encontrarse siempre muy húmedos o muy secos. El cultivo del arroz no se ha desarrollado siguiendo un patrón de suelos, sino más vale siguiendo la disponibilidad de agua, y se descartaron de esa área los de limitaciones más severas. Los suelos sobre los que se siembra arroz, corresponden típicamente a tres tipos: **peludertes argiacuólicos**, **argiudoles vérticos** y **argiacuoles vérticos**. Todos ellos pueden estar formando parte de una misma arrocería, en diferentes topografías de ella.

Los peludertes argiacuólicos (vertisoles hidromórficos). Se encuentran en paisajes muy suavemente ondulados, de pequeños declives, hacia pequeños arroyos que rodean los bañados de altura. Son imperfectamente drenados, de escurrimiento superficial lento y escasa permeabilidad. Tienen un horizonte A de unos 15 cm arcilloso, y dos horizontes B más arcillosos hasta 70 cm.

Los argiudoles vérticos se encuentran en paisajes ondulados a suavemente ondulados, en las partes medias y bajas de las pendientes y en los pies de loma. Son suelos moderadamente bien drenados, de escurrimiento superficial moderado y permeabilidad de lenta a muy lenta. Tienen un horizonte A algo más profundo que los anteriores (hasta 25 cm) y también 2 horizontes B muy arcillosos hasta 70 cm.

Los argiacuoles vérticos (gley subhúmedos), son los suelos de las chateras o bañados de altura. Son áreas planas extensas sin red de drenaje o con una red muy incipiente. Se trata de suelos imperfectos a pobremente drenados, con signos de hidromorfismo. El desarrollo del perfil es similar a los anteriores, aunque pueden tener horizonte A más profundo hasta 35 cm y con mayor contenido de materia orgánica.

Variedades y épocas de siembra

Las variedades más sembradas en la actualidad son del tipo largo fino (95% del área), El Paso 144, Irga 417, Supremo 13 y largo ancho (5%), Yeruá P.A.

La época de siembra arranca a principios de setiembre hasta fines de noviembre, siendo los nacimientos de octubre los de mayor potencial de rendimiento. La cosecha se produce a partir del fin de febrero. La provincia participa con alrededor del 46% con la producción nacional. La representatividad en el área sembrada de ésta zona es de 38.5%.

Superficie de las explotaciones

En esta área las unidades de explotación excepto las regadas por represas, están limitadas por la capacidad de las perforaciones a unas 60-80 ha y el destino es la agricultura.

Litoral Norte

La principal actividad agrícola es la ganadería bovina de cría e invernada, destacándose la forestación y el arroz como actividades anexas. En esta vasta zona sobre la cual merece destacarse el crecimiento del cultivo en los últimos años pueden diferenciarse distintas sub zonas.

Santa Fe

Se desarrolla en el área centro – este de la provincia en los relieves relacionados con el río Paraná, sembrándose aproximadamente 10.000 ha (8%). Los suelos son de origen aluvial, predominando la fracción limosa, ocupando relieves planos y extendidos donde la principal limitación es el drenaje imperfecto. En algunos casos la salinidad y alcalinidad se agrega a las limitantes mencionadas. Los suelos presentan, en general, deficiencias de fósforo y en ciertos sectores pueden presentar bajos niveles de materia orgánica y nitrógeno. La fuente principal de agua es el río San Javier, un afluente del Paraná. El principal sistema de extracción de agua es por bombas de caudal variable según la altura del río.

La fecha de siembra es en octubre, pero la mayoría de los casos se comienza a mediados de setiembre y se extiende hasta fines de noviembre.

Los sistemas de cultivo pueden ser: convencional o labranza anticipada. La tendencia se orienta a utilizar un segundo sistema para un mejor aprovechamiento de la maquinaria y mayor oportunidad de laboreo. Alrededor de tres meses antes de la siembra, los lotes se preparan y se sistematizan y taipean. Sobre la siembra se aplica un herbicida total y se siembra.

Las variedades utilizadas en las últimas campañas son: El paso 144, aunque en los últimos años se ha incrementado el uso de origen americano como Jackson, Cyprés y CT 6919, o tropicales como Taim.

Formosa

El área con aptitud arroceras de la provincia se ubica en la zona este, rodeada por los ríos Paraguay, Bermejo y Pilcomayo. Es una franja de aproximadamente 180 Km. de sur a norte, desde Puerto Velaz a Clorinda, aunque el área potencial para desarrollar el cultivo es de alrededor de un millón de hectáreas. Los departamentos de mayor desarrollo son Laishi y Pilcomayo. Actualmente la superficie dedicada al cultivo es de 2.000 ha (1.5%), habiendo alcanzado en la campaña 1993-94 10.000 (Aranguren, 1998). La zona está ubicada en una región tropical lo que permite siembras tempranas en agosto, lo que junto a condiciones de alta luminosidad posibilitan un buen desarrollo de la planta, aunque las altas temperaturas del verano con valores extremos de 40-43°C, determinan altos valores de evapotranspiración, con el consiguiente cuidado en el riego. El régimen pluviométrico es monzónico. El 75% de las lluvias se concentra entre octubre y marzo, siendo la media anual de 1350 mm.

Los suelos tienen su origen en sedimentos fluviales de variada granulometría, predominando las fracciones de limo y arcilla.

El sistema de siembra es en el 70-80% del área labranza mínima, correspondiendo el 15-20% al sistema convencional y la siembra en agua con semilla seca o pregerminada el resto.

Las fechas de siembra comienzan en la segunda quincena de agosto y se extiende hasta diciembre según la incidencia de las lluvias, siendo las óptimas desde mediados de septiembre hasta mediados de octubre.

Las variedades más usadas son Taim, Irga 409, IR 1529 y en menor medida El Paso 144.

Chaco

La superficie sembrada con arroz en esta provincia ha sufrido un importante incremento en la última década llegando a un pico de 7.500 ha en el año 1998-99, estando en la actualidad en 5.000 ha, aunque no representa más del 4 % del área a nivel País. (Aranguren, 1998). El área se encuentra en la franja oriental de la provincia. Esta zona representa terrenos planos de poca pendiente y cañadas que en general necesitan obras de drenaje y sistematización para ser utilizados. La mayor concentración se encuentra en el departamento Bermejo. Sus suelos son de poca historia agrícola, por lo tanto con poca incidencia de malezas, presentan texturas medias y requieren mayor número de labores que los suelos entrerrianos.

Las variedades más usadas son: Taim e IR 1529, IRGA 409, Jackson y Chuí. El resto de la tecnología es muy similar a la utilizada en Formosa y el norte Correntino.

Corrientes

Esta provincia ha duplicado la superficie en la última década, pasó de 30.000 ha en la campaña 1990-91 a aproximadamente un pico de 97.000 en la campaña 97-98, estando en las (50%) en la última campaña.(Moulin *et al.*, 2014). La potencialidad de esta zona es muy grande, ya que con la construcción de represas u obras de sistematización y drenaje es posible incorporar amplias zonas al cultivo del arroz. Hasta hace diez años atrás el sistema de riego se basaba principalmente en el uso de recursos hídricos superficiales, ríos, arroyos o lagunas, pero en los últimos años se han construido numerosas represas e incorporado sistemas de riego por gravedad que han permitido aumentar considerablemente las zonas de cultivo.

El área comprendida entre los ríos Corrientes y Uruguay, que abarca los departamentos de Mercedes, Curuzú Cuatiá, Concepción, Sauce, Paso de los Libres y Santo Tomé entre otros representa la región de mayor desarrollo de los últimos años y las de mayor producción. Paralelamente, han disminuido su importancia los departamentos del oeste y norte de la Provincia.

La característica de los suelos de la región es sumamente variable desde lomas arenosas en la zona de Goya, Lavalle, San Roque y Bella Vista, hasta suelos más pesados y con pendientes pronunciadas en Mercedes y Curuzú Cuatiá. También se han incorporado al cultivo zonas bajas (malezales, pajonales), más difíciles de trabajar. Las condiciones climáticas de la provincia se consideran adecuadas para el cultivo, fundamentalmente por sus temperaturas y luminosidad. Las principales deficiencias nutricionales están dadas por el fósforo y nitrógeno, en especial el primero que es muy deficiente en toda la provincia. En algunas zonas pueden presentarse niveles elevados

de hierro que determinan problemas de toxicidad y obligan al uso de variedades tolerantes a este problema.

Con relación a las fuentes de agua como ya se indicó se ha manifestado un gran cambio en los últimos años. En la década del 80 las fuentes principales eran los grandes ríos que se usaban para regar más del 60% de la superficie; el resto se abastecía desde lagunas, arroyos y esteros. En la actualidad la fuente principal son las represas, sobre todo en el área ubicada entre los ríos Corrientes y Uruguay, que fueron construidas en la última década.

Dentro de la región, la tecnología utilizada, varía según zona considerada:

Zona Occidental

En ésta zona que toma como cabecera la ciudad de Goya, el sistema de labranza presenta una marcada tendencia a la labranza mínima y un incipiente incremento de la siembra directa. No obstante aún predomina la labranza convencional y la siembra en línea. La fecha óptima de siembra es desde fines de setiembre hasta mediados de octubre, aunque se extienden según condiciones climáticas hasta principios de diciembre.

Las variedades más usadas son Taim y El Paso 144, con una marcada tendencia al incremento del primero. También se siembra IRGA 410, Chuí, IRGA 417 y CT 6919.

Zona Oriental

La cabecera de esta zona es Mercedes, en donde los sistemas usados combinan siembras convencionales y directas, por lo general con laboreo anticipado. En algunos establecimientos de esta zona, por ejemplo Paso de los Libres y La Cruz, se dan situaciones particulares. En Paso de los Libres, dadas las condiciones de suelos saturados que dificultan la siembra en fecha, se ha tendido a la preparación anticipada de los lotes, controles con glifosato y siembras aéreas con semilla seca. En La Cruz, con sistemas de siembra convencional, directa y en menor medida aérea, se obtienen rendimientos de 4200 Kg, usando las variedades mencionadas.

Las variedades utilizadas son Taim, CT 6919, IRGA 417 y El Paso 144.

Superficie de las explotaciones

En la región Litoral Norte predominan las explotaciones mixtas con superficies arroceras considerablemente más grandes que en la zona entrerriana fundamentadas en varios aspectos relacionados con la tenencia de la tierra y la fuente de riego.

Bibliografía

Aranguren J.D. (1998) *Evolución del cultivo del arroz en el movimiento CREA*. En

Arroz: cuaderno de actualización técnica n° 61:6-14.

Moulin J. F., María Mercedes; Sarli, R. (2014) *Resultados Lotes mara campaña 2013-2014*.

En. Avances. Año I - Nro. III. ISSN 2362 – 5163.

CAPÍTULO 29

Arroz: Usos y comercialización

Alfonso Vidal

Calidad

Es el conjunto de atributos que definen un producto. Siguiendo este concepto, lo que puede ser aceptable para un destino o uso puede ser completamente indeseable para otros. Como son atributos con una alta carga de subjetividad, lo que es de alta calidad para un determinado grupo étnico puede no serlo para otro. (Carreres Ortels, 1997). Existe en el arroz un intento de la FAO de encontrar una normativa, pero cada país debe fijar una específica.

El arroz de grano **largo de alta calidad** constituye la cuarta parte del mercado mundial. Su representante es el grano denominado “calidad americana”, siguiendo sus normativas, cuyo destino es Europa Occidental, medio oriente, el caribe y Surinam. Este tipo de arroz también es provisto por Argentina, Uruguay y Tailandia. Desde un punto de vista de la biometría del cariopse, se caracteriza por ser un grano largo y estrecho. Además su calidad intrínseca se caracteriza por un contenido intermedio de amilosa (22-25%) y una temperatura de gelatinización también intermedia (70-74°C) (Juliano *et al.* 1965).

El arroz **largo de calidad media** difiere en estos parámetros aunque mantenga la misma forma y tamaño que el anterior. Este arroz es consumido por países de Europa oriental, Asia y África, siendo Tailandia quien en mayor proporción lo comercializa.

El arroz de **grano mediano** es producido en Europa para platos especiales de sus propios pueblos (paellas y risottos)

Los **granos cortos** son producidos fundamentalmente por China y Taiwán para pequeños mercados

Los **granos aromáticos** son producidos en Paquistán e India para platos selectos en mercados de Europa occidental, mercados que pagan un sobreprecio por él. Existen varias calidades de aromáticos. El más representativo y demandado es el Basmati que, además de su aroma característico se alarga a más del doble luego de cocinado. Otro aromático reconocido aunque de calidad inferior es el Jasmine de Tailandia.

Las características de calidad pueden agruparse en cuatro grandes aspectos según el actor interviniente (industrial molinero, exportador, ama de casa, etc):

- **Industrial o de proceso**
- **Culinaria o Sensoriales**

- **Comercial**
- **Nutricionales**

Industrial o de Proceso

Molienda convencional

Uno de los procesos industriales más comunes en el arroz es la molienda convencional, la cual se lleva a cabo para mejorar la palatabilidad y digestibilidad y a su vez elimina algunos contaminantes. La evaluación se realiza determinando el rendimiento en grano entero y total, para lo cual el grano se descascara, se pule y se zarandea. Los sistemas para proceder a estas tres etapas pueden ser diversos, pero todos tienden a separar las glumelas (descascarado), eliminar el afrecho (pulido) y separar las fracciones de grano (entero del quebrado).

Existen factores que inciden en estos parámetros algunos relacionados al grano y otros al proceso en sí. Entre éstos últimos pueden mencionarse la humedad y gradiente de temperatura del grano, la humedad del local, regulación del molino (rodillos), refrigeración de los cilindros y el tiempo de elaboración. Los del grano pueden ser culturales (situaciones del cultivo, cosecha, secado, condiciones de almacenamiento, transporte y altura de los silos), o genéticos (dimensiones, topografía y textura del endosperma) (González Gallego, 1997).

A fin de determinar estas características se usan molinos experimentales que simulan las condiciones de la industria pero con ambiente más controlado, además el grado de elaboración o blancura debe también ser regulado, dado que influye sobre el rendimiento industrial final. Existen métodos químicos (May-Grunwald) o electrónicos (testeadores por blancura). En el primer caso se aprovecha la capacidad de las distintas sustancias químicas presentes en las diferentes capas del grano para teñirse en forma diferencial con el reactivo de May-Grunwald. En el segundo se utilizan diversos aparatos electrónicos capaces de cuantificar el grado de blancura en comparación con un patrón específico.

Parbolizado

Otro proceso para mejorar la calidad nutricional del grano es el parbolizado que consiste en someter al arroz cáscara a un proceso de remojado en agua hasta 70°C (por debajo de la temperatura de gelatinización del almidón) y cuando se alcanza 31% de humedad, aunque es mejor con vapor a presión. Los cambios que se producen bajo estas condiciones son: mejora de los parámetros de cocción, mejora del aspecto nutritivo pero no del valor biológico de las proteínas y mejora el aspecto sanitario dado que este proceso actúa a modo de esterilización del grano. Por otra parte el proceso actúa sellando pequeñas fisuras con que el grano viene de los procesos anteriores, debido a que este tratamiento de alguna manera "licua" el endosperma y el secado posterior endurece el mismo sellando esas fisuras. El grano sancochado, entonces mejora el rendimiento industrial de esa partida. El tiempo de remojado es inversamente proporcional a la temperatura del mismo, aunque debe considerarse que un excesivo tiempo de remojado (lo que implica utilizar bajas temperaturas), expone al grano a fermentaciones

provocada por el desdoblamiento en algunos principios químicos del mismo y por consiguiente contribuye a un desmejoramiento en la calidad del producto por la pérdida, entre otros atributos, de la blancura de los granos (González Gallego, 1997)

Algunas características pueden interferir el proceso como por ejemplo la presencia de glumelas (cáscaras) más oscuras, aristas y pilosidad, los granos yesosos, descascarados, manchados y picados, los que brindaran un producto final demasiado oscuro, desuniforme y de aspecto poco apetecible.

Algunas otras variables como la temperatura y tiempo de remojado y vaporizado, el descanso o reposo del grano pos secado previa a la molienda, tienen marcada influencia en la calidad del producto final. Existen diversas técnicas desarrolladas en diversos países pero todas tienen los mismos principios básicos con variantes metodológicas (Gariboldi, 1974).

Culinarias o sensoriales

Los aspectos sensoriales se refieren al grano crudo y cocido. En general no existe una asociación entre el tamaño y forma del grano con los aspectos de calidad culinaria. Sólo en USA se ha tratado de asociar los tipos de grano largo con variedades que cocinan seco y suelto y no se rompan a la cocción. Esto fue apreciado a partir de variedades de tipo de grano largo fino que resultaron totalmente inadecuadas para el aspecto del arroz cocido. Los aspectos preponderantes en el grano crudo son la transparencia y cristalinidad asociadas a la mejora en la molienda y la cocción. Otros atributos como el grado de blancura son muy apreciados en algunos mercados. Estos atributos son sumamente ponderados por lo que significan una valoración económica en la comercialización. Los consumidores prefieren arroces con un endosperma transparente y pagan un precio superior por él, aún cuando la opalescencia desaparece con la cocción y no influye en la calidad nutricional. Los granos con áreas opacas en su endosperma, causadas por la poca compactación de los gránulos de almidón en la red proteica, se quiebran fácilmente durante la molienda, por lo que pierden valor comercial. Estas áreas opacas se conocen como “panza blanca”, “centro blanco” o “dorso blanco”, según la ubicación en el endosperma. Este defecto no debe confundirse con el denominado grano “enyesado o yesoso”, cuyo origen es diferente y corresponde a un grano inmaduro o que no ha completado su desarrollo por diferentes motivos.

Independientemente de la pérdida de valor industrial del arroz panza blanca hay un rechazo del mismo a nivel doméstico aunque ellos se encuentren enteros en el envase.

A la cocción hay que definir los parámetros que resultan de ese proceso y las características organolépticas que se producen como resultado del mismo. El problema en este punto es que no existen modalidades de cocción uniformes para poder comparar variedades, por lo que cada lugar define su propia modalidad. Aunque han existido algunos intentos por uniformar la metodología son pocos los éxitos logrados. En general los parámetros a medir son: tiempo de cocción, absorción de agua, sólidos disueltos en el líquido, incremento en volumen y alargamiento. Algunos países establecen un panel de catadores elegidos al azar entre la

población. También existen métodos indirectos como la prueba alcalina. Los atributos del arroz cocido son menos ponderados en la mayoría de los mercados. Para determinar la textura del arroz cocido se pueden utilizar métodos sensoriales, como son el panel de catadores pero esto puede ser útil en aquellas regiones que tengan una tradición oricícola importante. Los test fisicoquímicos pueden auxiliar en la determinación de la calidad de cocción pero de ninguna manera reemplazar la evaluación por cocción directa del arroz. Alguno de estos test son: el porcentaje de amilosa (Juliano, 1979; Juliano *et al.*, 1965) por colorimetría usando harina de arroz, según las normas ISO. Otra técnica es usando el NIR. Otro test importante es el de la consistencia del gel de almidón que se utiliza para distinguir diferencia en la textura entre variedades con alto contenido de amilosa.

Arroces especiales

Existen toda una gama de arroces considerados especiales para los mercados internacionales (glutinosos, tipo bahía, con pericarpio rojo, etc.), o los denominados “gourmet”, que combinan dos o más de los atributos antes mencionados. Los arroces aromáticos son aquellos que contienen alta concentración de aceite esencial denominado 2 acetil 1 pirrolina que predomina en la variedad paquistaní Basmati 370, cuya intensidad puede medirse por métodos químicos o con un panel de catadores.

Comercial

Se pueden encontrar innumerables tipos de arroz clasificados en base a su biometría o su característica endospermática (reserva del endosperma). Por su biometría pueden clasificarse:

Arroz de grano largo y fino; Presenta una relación largo/ancho como mínimo de 3:1 y un largo de cariopse como mínimo de 6,5 mm.

Arroz largo ancho. Su relación largo ancho está entre 2:1 y 3:1 y el cariopse mide como mínimo 7 mm.

Arroz mediano ideales para recetas de tipo guisados (paellas y risottos). Su relación largo ancho es similar al tipo largo ancho pero el largo del cariopse está entre 2 y 3 mm

Granos cortos: presentan una gran concentración de almidón lo que los hace muy cohesivos una vez cocinados. Otras variedades de grano corto son utilizadas en algunos platos asiáticos, como el sushi. Su relación largo/ancho es menor a 2:1 y su largo es de menos de 5 mm. (SENASA, 1996)

Arroz glutinoso: tiene un gran contenido de amilopectina; tras la cocción los granos quedan pegados unos a otros.

Arroz silvestre: no es un verdadero arroz, sino una planta acuática que crece en Canadá y Estados Unidos. Es más fino que el de grano largo y tiene un color oscuro. Tras la cocción se mantiene entero, y su interés radica más en su efecto decorativo que en sus cualidades gastronómicas.

Arroz vaporizado (“parboiled”): tiene un valor nutritivo semejante al integral y su mismo color dorado que se vuelve blanco al cocerlo. Por llevar un proceso especial antes

de su comercialización, no se pasa ni se pega, aunque tarda más en cocer y absorbe menos los sabores de los ingredientes que lo acompañan.

Arroz integral: conserva el salvado, lo que lo hace rico en fibras y vitaminas.

Arroz Basmati: su grano es largo y muy fino. Tras la cocción permanece entero y suelto, y se alarga en forma considerable a la cocción, conservando un sabor característico. Procede de la India. (Carreres Ortels, 1997)

Arroz Tailandés: se destaca por su aroma a jazmín.

Rendimiento grano entero					
Tipos	Base (%)	Tolerancia recibo (%)	Bonificaciones	Rebajas	
Largo ancho	54	42	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/% o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 45%	Para val. inferiores a 45% 1,5% por c/% o fracción
Largo fino	56	42	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/% o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 45%	Para val. inferiores a 45% 1,5% por c/% o fracción
Mediano	54	42	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/% o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 45%	Para val. inferiores a 45% 1,5% por c/% o fracción
Corto	59	45	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/% o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 48%	Para val. inferiores a 48% 1,5% por c/% o fracción
Rendimiento Grano total					
Tipos	Base (%)	Tolerancia recibo (%)	Bonificaciones	Rebajas	
Largo ancho	68	63	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/5 o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 65%	Para val. inferiores a 65% 1,5% por c/% o fracción
Largo fino	68	63	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/5 o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 65%	Para val. inferiores a 65% 1,5% por c/% o fracción
Mediano	68	63	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/5 o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 65%	Para val. inferiores a 65% 1,5% por c/% o

Corto	70	65	Para valores superiores a la base a razón de 1% por c/5 o fracción	Para val. inferiores a la base 1% c/% hasta 65%	Para val. inferiores a 65% 1,5% por c/% o fracción
Otro tipo					
Materias extrañas	----	3	----	Para val. inferiores a la toler. 1% c/% o fracción	Para val. superiores a la toler. 1,5% c/% o fracción
Panza blanca		1	5	----	Para val. inferiores a la base y hasta la tol. 1% c/% o fracción.
Enyesados o muertos	0,3	1	----	Para val. Inferiores a la base y hasta la tol. 1% c/% o fracción.	Para val. inferiores a la toler. Y hasta 2% 1,5% c/% o fracción
Manchados y/o coloreados		0,25	0,5	----	Para val. inferiores a la base y hasta la tol. 1% c/% o fracción.
Colorados o con estrías rojas		----	0,25	----	Para val. inferiores a la base y hasta la tol. 2% c/% o fracción.
Humedad		----	14	----	Para val. superiores Se descuentan Gastos y merma
Bejuco o porotillo		----	1 sem./100g	----	0.50% por cada semilla en exceso.
Insectos o arácnidos vivos		----	Libre	----	----
Chamico		----		2 sem./100g	

(SENASA 1996)

Fig. 29.1. Bases para la comercialización de arroz

Nutricionales

El arroz como alimento se ha movido en un discurso ambiguo y muchas veces contradictorio aunque pocas veces probado al afirmarse, por ejemplo, que es un alimento pobre para los sectores de bajos recursos y para los sectores con mayor poder adquisitivo un alimento que “engorda”.

Los atributos nutricionales son los que están vinculados a la salud en este sentido cobra cada vez mayor importancia el concepto que considera al arroz como alimento funcional. Esta denominación que tiene que ver con las propiedades terapéuticas del cereal dado por un número de cualidades entre las que se puede mencionar sus propiedades antialérgicas (o por lo menos no se conocen reacciones alérgicas al presente en grupos de individuos), y que sus proteínas juegan un rol fundamental puesto que pese a que cuantitativamente el arroz tiene un contenido inferior al resto de los cereales, al tener un menor contenido de tanino lleva a aumentar la digestibilidad. El arroz integral suministra cantidades importantes de niacina, tiamina, fósforo, zinc, calcio y riboflavina. El arroz posee poco sodio por lo que lo hace adecuado para dietas hiposódicas (Carreres Ortels, 1997).

Subproductos del arroz

De acuerdo con las estimaciones de la FAO la producción mundial de arroz llega a los 600 millones de t., la mayoría producida en el sudeste de Asia. El mayor subproducto derivado de la cosecha es la cáscara un componente sumamente fibroso y no digerible que representa alrededor del 20% del paddy seco. Es decir que si todo el arroz fuera comercialmente molinado se deberían procesar alrededor de 120 millones de t. de cáscaras que ocuparían unas 900 millones de m³ de capacidad de almacenaje. Debido a su carácter abrasivo, pobre valor nutritivo, baja densidad y alto contenido en cenizas, tienen pocas aplicaciones y su transporte resulta sumamente caro. En Argentina, alguna de estas aplicaciones son: cama de aves, aprovechando la actividad en ese rubro sobre todo en la provincia de Entre Ríos y de allí a abono para la actividad hortícola en especial bajo cubierta. Otro destino es en el procesamiento de jugos, o construcción de paneles. Las cáscaras remanentes se transportan a los campos. Al no tener una utilidad manifiesta, crean un problema de espacio y contaminación ambiental. Otras aplicaciones son como transporte de sustancias por su carácter inerte. Además pueden ser utilizados para la extracción de sus componentes químicos como son el furfural y el carbono. (Hsu&Luh 1980) Otra aplicación interesante y que implica un ahorro económico es aprovechar su poder calórico (3500 Kcal.kg⁻¹), en plantas secadoras de grano o parbolizado en los propios molinos industrializadores, aunque esta última aplicación requiere un procesamiento de los humos para evitar los efectos contaminantes.

Otro subproducto del proceso es el afrecho constituido por el pericarpio, las capas externas de la aleurona, los tegumentos seminales y el germen. Ya nos hemos referido a la potencialidad de este componente y el remanente una vez extraído el aceite se destina a la fabricación de tortas o "pellets" para alimento de ganado. En nuestro país, que no tiene una industria aceitera a partir del arroz dado la mayor eficiencia de otros cereales como el maíz para este destino, el afrecho una vez estabilizado se destina a consumo animal. (Barber *et al.*, 1980).

El resto del tallo del arroz constituye una muy buena materia prima para la fabricación de papel de calidad. Además por ser un material aislante e inerte se lo utiliza como paneles para techumbre en viviendas rústicas. En nuestro país, como la cosecha es mecánica, gran cantidad de paja queda en el campo por lo que su principal uso es pastura junto con las malezas del rastrojo o incorporado para mejorar la relación carbono/nitrógeno del suelo. Muchas veces este rastrojo es mejorado con la siembra de especies leguminosas para favorecer la calidad y palatabilidad del forraje. En nuestro país es la rotación más adecuada como secuencia del arroz para cortar el ciclo de algunas malezas del arrozal y aprovechar su alta digestibilidad.

Bibliografía

- Barber S. & Barber C. (1980). *Rice bran: Chemistry and Technology*. In: Rice: Production & Utilization. Avi Publishing company inc. Westport, Connecticut. pp 790-862.
- Carreres Ortels R.M. (1997). *Calidad del Arroz*. En: Cultivo de arroz en clima mediterráneo Junta de Andalucía. Conserjería de agricultura y Pesca. pp 203-213.
- Gariboldi F. (1974). *El sancochado del arroz*. Organización de las acciones Unidas para la agricultura y la Alimentación 98 pp.
- González Gallego C. (1997). *La industria arrocera actual*. En: Cultivo de arroz en clima mediterráneo Junta de Andalucía. Conserjería de agricultura y Pesca pp 237-243.
- Juliano B. (1979). *Amylose analysis in rice- A review*. In: Proceeding Workshop on chemical Aspects of rice Grain Quality. IRRI. Los Baños, Philippines. pp 251-260.
- Juliano B., Onate L.u & Del Mundo A.M. (1965). *Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice*. Food Technology 19: 1006-1011.
- Hsu W.H & Luh B.S. (1980) *Rice hulls*. In: Rice: Production & Utilization. Avi Publishing company inc. Westport, Connecticut. pp 736-763.
- SENASA, (1996). *Textos ordenados de las normas de calidad muestreo y metodología para los granos y subproductos*.

CAPÍTULO 30

Arroz: Objetivos del mejoramiento genético

Alfonso Vidal

Los objetivos del mejoramiento del arroz pueden clasificarse según su importancia en generales o globales y locales o regionales. (Jennings *et al.*, 1981a). Los objetivos generales no escapan a los correspondientes al mejoramiento de los cereales en general, basados en el tipo de planta, buscando una mayor expresión de las características que incidirán en los componentes del rendimiento y la calidad.

Tipo de planta

Entre los factores que se buscan mejorar en el idiotipo de planta pueden mencionarse la altura (de alrededor de un metro) y la estructura de los tallos que deben ser cortos y firmes, características relacionadas con la respuesta a la fertilización y al vuelco en madurez. Otro factor a tener en cuenta son las hojas rígidas, rectas y de color verde oscuro, relacionadas con la eficiencia de intercepción de la radiación incidente y a la eficiencia fotosintética. El macollaje más o menos cerrado ha de producir una mejor respuesta al vuelco y asegurará una mejor calidad dado que la posibilidad que las panojas entren en contacto con el agua y el barro será menor

Una buena exersión de las panojas permitirá un buen desarrollo de los granos, una cosecha más limpia y a la vez un mejor secado natural y por consiguiente una mejor sanidad (Jennings *et al.*, 1981b). Es preferible planta y granos glabros, que aseguren una mayor sanidad y menor dificultad en el manipuleo de los mismos. También se buscan plantas con poco contenido de antocianas y de menor senescencia asociadas a una mayor eficiencia fotosintética.

Rendimiento (Componentes: N° de macollos.planta⁻¹; N° de granos.panoja⁻¹ y peso de mil granos)

Para lograr un equilibrio en los componentes del rendimiento deben buscarse ciclos vegetativos apropiados para cada zona de cultivo, y a la vez estos deben expresarse con

estabilidad es decir que la planta debe mostrar elasticidad y adaptabilidad a las variaciones ecológicas de una zona en particular. Una cuestión estrechamente vinculada al rendimiento es la respuesta al fotoperiodo.

Con respecto a la semilla son importantes los aspectos vinculados a la dormancia de la misma y la rápida germinación y desarrollo de la plántula. Asimismo es importante la respuesta a la fertilización, aspecto que como ya se mencionó, está vinculado a la altura de planta y a la resistencia al vuelco.

Desde un punto de sustentable, es importante el buen comportamiento a la baja fertilidad y suelos de pobre fertilidad. Es también motivo de selección la buena aptitud de macollaje y su uniformidad a panojamiento, con una madurez uniforme, dado que las características contrarias producirán un arroz de menor calidad, aumentando el porcentaje de quebrados y granos enyesados. Desde el punto de vista de la trillabilidad es decir la menor resistencia a separar el grano de su raquilla (desgrane), resulta importante un valor intermedio de trillabilidad, que no ofrezca excesiva resistencia pero que a su vez no desgrane en forma espontánea.

Sanidad

Desde el punto de vista sanitario, la resistencia a las principales adversidades bióticas del cultivo, es un objetivo prioritario del mejoramiento. De este modo la resistencia a: tizón o quemado (*Pyricularia grisea* L.), mancha castaña (*Helminthosporium oryzae*), mancha lineal (*Cercospora oryzae*), podredumbre del tallo (*Helminthosporium sigmoideum*), por mencionar sólo las de mayor importancia, son objetivos prioritarios. Se ha trabajado mucho menos en resistencia a plagas animales (Jennings *et al.*, 1981c).

Dentro de los objetivos regionales o zonales y desde un punto de vista de la resistencia a los factores abióticos puede mencionarse la tolerancia a vaneo o pico de loro (Straighthead), tolerancia a bajas temperaturas (fase de germinación y reproductiva), tolerancia a altas temperaturas (fase reproductiva y madurez), tolerancia a bajas temperaturas del agua de riego (durante todo el ciclo) y tolerancia a desordenes edáficos (salinidad, alcalinidad, toxicidad de hierro, deficiencia de hierro, zinc y fósforo), tolerancia a sequía, adaptabilidad a suelos anegados y capacidad de rebrote, dado que los problemas mencionados son regionales y sólo es posible detectarlos en condiciones particulares (Jennings *et al.*, 1981d).

Asimismo, aunque puede ser considerado objetivo general, el arroz rojo (*Oryza ruffipogon*), es un problema sectorial y prioritario en algunas regiones. Al respecto se han logrado algunos avances con el lanzamiento de arroces con tolerancia a herbicidas del grupo de las imidazolinonas, que permiten un control sobre esta maleza.

Calidad

El comportamiento a la molienda es un elemento prioritario entre los factores de calidad. Dado que el arroz es el único cereal que se consume casi exclusivamente como grano entero, el porcentaje de este factor medido a través del rendimiento industrial (porcentaje de grano entero y porcentaje total) es fundamental. El precio del producto varía también con el tamaño y forma del grano (largo fino, largo ancho, mediano y corto), no debe por consiguiente descuidarse este aspecto. La transparencia y la ausencia de panza blanca en el grano, también son factores que pueden mejorarse por selección

Otros aspectos que hacen a la calidad culinaria y palatabilidad (t° de gelatinización y contenido de amilosa del almidón), son factores que, en algunos mercados importadores implican cubrir exigencias con respecto a parámetros de cocción (Jennings *et al.*, 1981e)

Existen otros factores que hacen a la calidad orientada a preparaciones especiales como son los granos con alto contenido proteico, aroma, arroz glutinoso y para preparaciones especiales (parboiled, enlatado, inflado, para desayuno, etc.). Todos ellos pueden ser obtenidos por mejoramiento tradicional o técnicas modernas de mejora. (Jennings *et al.*, 1981e)

Bibliografía

- Jennings P.R., Coffman W.R. & Kauffmann H.E. (1981a). *Establecimiento de los objetivos de mejoramiento genético*. En: Mejoramiento de Arroz. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT) pp 95-98.
- Jennings P.R., Coffman W.R. & Kauffmann H.E. (1981b). *Mejoramiento genético de características agronómicas y morfológicas*. En: Mejoramiento de Arroz. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT) pp 99-126.
- Jennings P.R., Coffman W.R. & Kauffmann H.E. (1981c). *Mejoramiento genético de la resistencia a plagas*. En: Mejoramiento de Arroz. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT) pp 153-212.
- Jennings P.R., Coffman W.R. & Kauffmann H.E. (1981d). *Tolerancia a condiciones edáficas desfavorables*. En: Mejoramiento de Arroz. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT) pp 213-231.
- Jennings P.R., Coffman W.R. & Kauffmann H.E. (1981e). *Calidad del grano*. En: Mejoramiento de Arroz. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT) pp 127-152.

CAPÍTULO 31

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

María Rosa Simón y María Constanza Fleitas

El presente capítulo tiene por objetivo integrar aspectos desarrollados de manera más profunda en otros capítulos, como algunas características destacables en la morfología y fenología del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y arroz (*Oryza sativa* L.); así como también aspectos relacionados a plagas insectiles, enfermedades, malezas, manejo, características del grano y principales usos.

Ecofisiología del cultivo de maíz, sorgo y arroz

Dinámica de diferenciación y expansión foliar

Las características de crecimiento determinado y desarrollo del maíz, del sorgo y del arroz se reflejan en la dinámica de generación de primordios de hojas y su expansión. En los tres cultivos se producen una enorme cantidad de procesos que se observan a simple vista (cambios externos) y otros que son solamente visibles a través de la disección de las plantas (cambios internos). Los cambios externos reflejan procesos que han ocurrido previamente en el ápice de crecimiento y que determinarán el número de hojas que tendrá la planta y, asimismo, la duración del ciclo del cultivo. La iniciación floral en los tres cultivos consiste en el pasaje de estado vegetativo a reproductivo del meristema apical y ocurre cuando finaliza la generación de primordios foliares y comienza la generación de espiguillas.

El maíz los primordios foliares se diferencian hasta la iniciación floral masculina, que ocurre cuando el vástago principal cuenta con alrededor de seis hojas expandidas (la coincidencia entre el número de hojas expandidas y la iniciación floral no es estricta, y depende de varios factores, entre ellos las características de longitud del ciclo del genotipo y la época de siembra). Durante esta etapa se diferencian primordios foliares en el meristema apical con un plastocrono de aproximadamente $20^{\circ}\text{C día.hoja}^{-1}$ sobre una temperatura base

de 8 °C. La diferenciación de hojas continua hasta que el ápice cambia de estado vegetativo a reproductivo y cesa la formación de primordios foliares para dar origen a espiguillas de la panoja (que son estaminadas). Con posterioridad a la iniciación de la panoja, comienzan a diferenciarse primordios florales en la yema axilar que originará la espiga (espiguillas con órganos femeninos), que sucede cuando el cultivo tiene siete a nueve hojas expandidas (Lejeune & Bernier, 1996). Por otra parte, en el maíz la expansión de las hojas ocurren a un ritmo de alrededor de 38-45 °C día.hoja⁻¹ sobre temperatura base de 8 °C (filocrono en maíz) (Cárcova *et al.*, 2003). La elongación de los entrenudos en maíz (encañazón) se inicia cuando el cultivo presenta alrededor de seis hojas expandidas. Al final de la encañazón, emerge la panoja y poco después la espiga y la elongación de los entrenudos continúa hasta la aparición de los estigmas, momento en que la planta alcanza su máxima altura.

El sorgo y el arroz presentan similitudes con el maíz en varios de estos aspectos, aunque existe una diferencia notoria: la inflorescencia apical de sorgo y arroz es la panoja y constituyen el órgano de cosecha en ambas especies. No obstante, existen elementos en común en cuanto a la generación y dinámica de expansión de hojas en los tres cultivos.

En el cultivo de sorgo, los primordios foliares se diferencian hasta la iniciación floral, que ocurre cuando el vástago principal cuenta con cuatro a seis hojas expandidas. Al igual que en maíz, la coincidencia entre el número de hojas expandidas y la iniciación floral no es estricta, y depende de varios factores. Durante dicha etapa se desarrollarán en la panoja tanto órganos femeninos como masculinos. Los primordios foliares de sorgo se diferencian a valores de alrededor de 21°C día.hoja⁻¹ sobre una temperatura base de 11 °C (Gambín & Batlla, 2012). La iniciación floral del sorgo se puede determinar realizando disecciones en el tallo principal aproximadamente a un centímetro por debajo del suelo, donde se observan pequeñas ramificaciones de la futura panoja. A partir de ese momento, al encontrarse formados todos los primordios del vástago principal, solo resta la expansión de esas hojas, que tendrá lugar en el transcurso del macollaje y la encañazón; a un ritmo expresado en unidades de alrededor de 41°C día.hoja⁻¹ sobre una temperatura base de 11°C (Gambín & Batlla, 2012). La expansión completa de la última hoja en formarse (hoja bandera, HB) permitirá la emergencia del órgano de cosecha, es decir la panoja. La encañazón en sorgo consiste en la elongación de los entrenudos. Este proceso comienza en el vástago principal al finalizar el macollaje, coincidiendo con el estado de siete a diez hojas y con la aparición del primer nudo aéreo. La encañazón se extiende hasta la aparición de la panoja, momento en el cual la planta alcanza su altura máxima.

Al igual que en sorgo y maíz, el crecimiento determinado del cultivo de arroz hace que la planta diferencie hojas hasta la etapa reproductiva, momento en que se inicia la diferenciación del primordio floral. Dicho estado ocurre aproximadamente cuatro semanas antes de la floración y coincide con la formación del segundo o tercer entrenudo. Itoh *et al.* (2005) expresaron que la planta de arroz produce diez o más hojas antes de pasar a la fase reproductiva. No obstante, el número de hojas no es estricto y varía entre cultivares al igual que en maíz y sorgo. Adicionalmente, la diferenciación del primordio debe

determinarse empíricamente mediante un corte de la base del tallo, donde se observa un primordio de unos 2 mm de longitud de color blanquecino de aspecto algodonoso. Se puede predecir la aparición del primordio de manera estimativa conociendo la fecha de siembra pero, la forma más correcta de hacerlo es arrancar diez plantas representativas del lote y cortarlas longitudinalmente. Si tres de las diez (30 %) presentan el primordio entonces el lote está en la fase. En la panoja se diferenciarán como en el caso de sorgo, tanto órganos femeninos como masculinos.

Diferenciación de espiguillas en los órganos de cosecha

En tanto que la espiga constituye el órgano de cosecha de maíz (ya que esta inflorescencia porta los ovarios que al fecundarse formarán los granos) el órgano de cosecha en sorgo y arroz es la panoja. En cuanto a la iniciación de espiguillas por espiga es importante destacar que la distinta posición de la espiga en maíz (lateral o axilar) con respecto a la panoja en sorgo y arroz (apical) determina características que diferencian al cultivo de maíz del sorgo y del arroz.

El maíz, al presentar la espiga una posición lateral, la diferenciación de las yemas axilares que darán origen a las espigas tiene lugar luego de la diferenciación del meristema apical, cuando ya las plantas presentan alrededor de siete a nueve hojas (como se indicó anteriormente). Dicho momento constituye el pasaje a estado reproductivo de las yemas axilares. La diferenciación de las espiguillas de la espiga (axilar) posteriormente a las espiguillas de la panoja (apical) puede asociarse con la fuerte dominancia apical que se da en el maíz. Se debe notar que, a diferencia del sorgo y del arroz, las espiguillas de la espiga de maíz poseen únicamente flores femeninas, pistiladas. Al igual que para el meristema apical en el sorgo y el arroz o para la panoja en maíz, una vez que la yema axilar es inducida a diferenciar órganos florales, cesa la diferenciación de estructuras vegetativas (que en este caso son las chalas), comenzando la formación de espiguillas con flores pistiladas. Dentro de cada yema axilar que ha entrado en su fase reproductiva, queda determinado tempranamente el número de hileras de espiguillas de la futura espiga. En la espiga de maíz, que posee forma cilíndrica, las primeras espiguillas en formarse son las basales (a diferencia del sorgo y del arroz en donde las primeras espiguillas en diferenciarse son las apicales), y luego se diferenciarán espiguillas acrópetamente a lo largo de cada una de las hileras. La finalización de la diferenciación de espiguillas por espiga en maíz (que es en definitiva el momento en el cual se define el número potencial de granos por planta) ocurre cuando comienza la elongación de los estigmas del tercio inferior de la espiga, y coincide con cambios en la morfología del domo apical que pierde su aspecto redondeado (Otegui, 1997).

En el sorgo, las espiguillas de la panoja se diferencian durante un periodo que abarca desde iniciación floral (cuando existen en el vástago principal alrededor de cuatro a seis hojas) hasta unos veinte días previos a la antesis y coincide con la aparición de la HB, es decir, la última hoja. En el sorgo la diferenciación de primordios de espiguillas varía con la

posición que ocupa en la panoja, siendo las espiguillas apicales de cada ramificación las primeras en diferenciar y por último las basales y dentro de la panoja comienzan a diferenciar primero las ramificaciones superiores (floración en sentido basípeto).

Finalmente, en arroz hay un paso gradual entre estadios vegetativos y reproductivos, es difícil diferenciar estadios precisos y la diferenciación de espiguillas se produce desde el ápice de la panoja hacia la base (Itoh, 2005). Tanto en sorgo como en arroz, la diferenciación de espiguillas por panoja finaliza en el estado de espiguilla terminal.

Estructura floral y antesis

La antesis, polinización y fecundación en los cultivos de maíz con respecto a sorgo y arroz presentan diferencias muy notorias. En tanto que el arroz y el sorgo son especies monoclina monoicas, es decir, sus flores son hermafroditas y se autofecundan; en el maíz existe alogamia y al ser una especie diclino monoica la sincronía entre la maduración de la panoja (inflorescencia masculina) y la espiga (inflorescencia femenina) puede tener gran impacto en el rendimiento. No obstante el sorgo puede presentar entre un 5 a 15% de alogamia dependiendo del genotipo, dirección del viento y humedad del ambiente (House, 1985). Por otro lado, en el arroz ese porcentaje de alogamia es inferior.

Tanto en sorgo como en arroz, a partir de panojamiento, es decir una vez completada la emergencia de la panoja (luego de haberse expandido de forma completa todas las hojas diferenciadas incluyendo la HB), el cultivo se aproxima al periodo de floración o antesis. También en el caso de maíz se produce en ese momento la antesis de la panoja.

En sorgo las espiguillas se presentan apareadas, una espiguilla pedicelada y una sécil, salvo la parte terminal de las ramificaciones donde hay dos espiguillas pediceladas y una sécil. Dentro de las espiguillas pediceladas hay dos flores, una de las cuales aborta y la otra es estaminada o estéril, en tanto que dentro de la espiguilla sécil hay dos flores una aborta y la otra es hermafrodita. El momento de floración o antesis en sorgo puede ser identificado por la visualización de las anteras y del par de estigmas vellosos por fuera de las glumas que forman las espiguillas. Como se mencionó anteriormente, las flores fértiles del sorgo son hermafroditas, presentan autopolinización, y proyectan sus estambres y estigmas al exterior una vez que ha ocurrido la antesis. Por lo tanto, la aparición de las anteras y estigmas por fuera de las espiguillas indica que la flor ya ha sido fecundada (teniendo en cuenta que la fertilización se produce cuando la flor está cerrada). Adicionalmente, la floración en el cultivo de sorgo progresa en sentido basípeto dentro de cada ramificación, es decir, desde el ápice hacia la base de la panoja.

Por otra parte, las espiguillas de arroz se presentaban ancestralmente de a tres, luego las dos laterales abortaron y quedaron reducidas a lemmas estériles de longitud variable quedando solo la espiguilla central. Las espiguillas son unifloras, a diferencia de lo que sucede en maíz y sorgo. La flor consta de seis estambres y un pistilo. Los estambres se componen de anteras bicelulares, nacidas sobre filamentos delgados, mientras que el pistilo está formado

por el ovario, el estilo y un estigma bífido y plumoso. Las espiguillas de arroz son hermafroditas, presentan autopolinización en un elevado porcentaje y proyectan sus estambres y estigmas al exterior una vez que ha ocurrido la antesis. Por lo tanto, al igual que en sorgo, la aparición de las anteras por fuera de las espiguillas indica que la flor ya ha sido fecundada. Al igual que en la panoja de sorgo, la floración del arroz se inicia en las ramificaciones superiores y progresa hacia la base de la panoja. Asimismo, dentro de cada ramificación, la floración se inicia en las espiguillas apicales y progresa hacia la base de la misma.

En el caso de maíz, las espiguillas se presentan de a pares formando hileras. En el caso de la panoja, una de las espiguillas es pedicelada y la otra sésil y poseen dos flores fértiles cada una, estaminadas. En el caso de la espiga, ambas espiguillas son sésiles y en ambas la flor inferior aborta, en tanto que la superior es pistilada, por esta razón se producen hileras pares de granos. Por otra parte, en el maíz, la antesis ocurre luego de la emergencia total de la panoja. La antesis en maíz puede definirse como la aparición de las anteras de las flores en las espiguillas de la panoja y el comienzo de la liberación del polen. La antesis en la panoja de maíz comienza en el eje principal y finaliza en las ramificaciones de esta inflorescencia. La maduración progresiva en el desarrollo floral de la panoja resulta en un periodo de varios días de liberación de polen, aunque cada flor individual libera polen, generalmente, sólo por un día. La floración femenina en maíz, por su parte, consiste en la emergencia de los estigmas fuera de la envoltura de las chalas. La emergencia de los estigmas es también un proceso progresivo. Los estigmas de una espiga toman de cuatro a ocho días en emerger, en una secuencia que sigue el patrón general de diferenciación y desarrollo de la inflorescencia (acrópeto). La longitud del periodo de crecimiento de los estigmas (comúnmente denominadas "barbas" del choclo) fuera de las chalas, depende de si las flores femeninas alcanzan o no la fecundación: los estigmas de las flores que son fecundadas cesan su crecimiento inmediatamente, mientras que los de las no fecundadas continúan creciendo hasta quince días después de su aparición.

Por otra parte, luego de su emergencia a través de las chalas, los estigmas presentan un período limitado en el cual son receptivos, y dicha receptividad decae en el tiempo y se torna nula a los catorce días de su emergencia. La polinización ocurre cuando el polen proveniente de las flores estaminadas de la panoja se adhiere a los estigmas de las flores pistiladas de la espiga. Dado que tanto la liberación de polen como la receptividad de los estigmas son limitadas, cuanto mayor sea la sincronía floral en el desarrollo de la panoja y la espiga, mayor será la posibilidad de fecundación en condiciones de campo. Si no existen restricciones ambientales, en los híbridos modernos la aparición de estigmas ocurre en general poco después (medio día a tres días) del comienzo de la antesis (protandria). El número de ovarios fecundados en un cultivo queda determinado al finalizar la liberación de polen.

Llenado de los granos

El periodo de llenado de granos ocurre en los tres cultivos desde la fecundación hasta la madurez fisiológica, momento en el cual los granos alcanzan su peso seco máximo. El llenado de los granos se inicia en la base de la espiga de maíz y continúa hacia la zona superior de la misma (sentido acrópeto) (Fig. 31.1A). Contrariamente, en sorgo y arroz, la iniciación del llenado de grano ocurre primero en las ramificaciones superiores de la panoja y continúa hacia la base de la misma (sentido basípeto). Asimismo, en una misma ramificación, el llenado se inicia en los granos superiores y continúa hacia los inferiores (Fig. 31.1B).



Figura 31.1. **A.** Sentido acrópeto de iniciación de floración y llenado de granos en la espiga de maíz. **B.** Sentido basípeto en la panoja de sorgo y arroz

Cuando los tres cultivos se encuentran en floración, se inicia el crecimiento de los granos, que continúa hasta la madurez fisiológica. Tanto en maíz como en sorgo, el período de llenado de los granos transcurre desde el momento de la fecundación hasta la formación de una capa de abscisión en la base de los mismos, denominada “capa negra”. Esta capa resulta de la necrosis de los haces vasculares que conectan al grano con los tejidos maternos.

En los tres cultivos, el llenado de granos puede dividirse en tres etapas, en base a la tasa de acumulación de materia seca y otras características particulares.

En una primera instancia ocurre el denominado “cuaje” de los granos. Esta fase presenta una muy baja tasa de llenado, y tiene lugar una activa división celular que da lugar a la formación de células endospermáticas. Se entiende por cuaje al proceso por el cual las flores fertilizadas alcanzan el grado de desarrollo suficiente como para evitar el aborto y dar lugar al crecimiento del grano formado. En esta primera etapa, en las tres especies todavía se está definiendo el número de granos que logrará el cultivo, y es por eso que el periodo de cuaje forma parte del período crítico de los tres cultivos. Mientras que en sorgo y arroz el número de ovarios fecundados queda establecido en el momento de la emergencia de las anteras en las panojas, luego de la autopolinización, en maíz el número de ovarios fecundados en un cultivo queda determinado al finalizar la liberación de polen de la panoja y la polinización cruzada. No obstante, en maíz la disminución del número de granos por planta durante el periodo de cuaje (lo que comúnmente se conoce como “aborto”) tiene más importancia que

en sorgo y arroz. En estos dos cultivos, aquellas flores que han sido fecundadas generalmente llegan a producir grano. El período de cuaje de los tres cultivos, se extiende entre 10 y 20 días después de floración. El número de granos.planta⁻¹, principal determinante del rendimiento en grano por planta, queda establecido en ese momento.

En una segunda instancia, se inicia la etapa de aumento o llenado efectivo de los granos o fase de crecimiento lineal. Esta fase muestra la máxima tasa de acumulación de materia seca y suele representar más de la mitad del período total de llenado.

Finalmente, ocurre la etapa final denominada de crecimiento no lineal. En dicha etapa, la acumulación de materia seca de los granos es decreciente (cada día los granos crecen sosteniblemente menos de lo que habían crecido en días anteriores). Este proceso finaliza con la madurez fisiológica donde los granos ya no acumularán más biomasa. Es decir, luego de madurez fisiológica el peso del grano permanecerá estable. Este último periodo se caracteriza por una activa pérdida de humedad del grano. Como se mencionó anteriormente para maíz y sorgo, a la semana de completado el llenado se visualiza la formación de la “capa negra”. Dicha capa pone en evidencia la madurez fisiológica del grano y queda determinado el peso final y el rendimiento del cultivo. Por otra parte, si bien en arroz no hay aspectos visuales en el grano que permitan identificar la madurez fisiológica, el amarillamiento del pedúnculo y secado de la hoja bandera es un indicio de la misma.

Mecanismos de compensación: macollaje, ramificaciones y prolificidad

Los tres cultivos presentan yemas en las axilas de las hojas. En el sorgo y en el arroz, muchas de esas yemas axilares pueden dar lugar a macollos, mientras que en maíz, el macollaje se da en casos excepcionales. Los macollos son vástagos secundarios con exactamente la misma estructura general que los principales, de los que se originan. Estos vástagos aparecen de las uniones entre la lámina foliar y el tallo, por dentro de las vainas foliares que recubren al mismo.

En el maíz, las yemas correspondientes a las cuatro a cinco hojas basales, cuyos entrenudos nunca se elongan, permanecen en estado vegetativo y pueden dar lugar a ramificaciones (macollos), según el genotipo, el ambiente y la densidad de siembra, aunque esto ocurre con muy poca frecuencia. Las yemas ubicadas en las axilas de las hojas tienen la capacidad de diferenciar espiguillas. Sin embargo si bien cada planta pudo haber llegado a diferenciar espiguillas en seis o siete yemas axilares, sólo una o dos espigas, excepcionalmente tres por planta darán granos. El número de espigas por planta (prolificidad) depende del genotipo y del ambiente (disponibilidad de recursos por planta), siendo particularmente importantes en su determinación las condiciones durante la floración y las últimas dos semanas previas a la misma. Las hojas ubicadas por encima de la espiga superior, no presenta yemas axilares visibles.

En sorgo, al igual que en arroz, el período de macollaje se inicia a partir de la cuarta hoja. No obstante, si bien el sorgo posee una mayor capacidad de macollaje que el maíz, en

aquellas producciones cuyo destino es la comercialización de grano una alta producción de macollos genera inconvenientes. Esto se debe a que los macollos secundarios florecen después que el tallo principal lo que favorece el ataque de plagas y enfermedades pero además los granos demoran más en alcanzar la humedad de cosecha lo que ocasiona dificultades en la trilla. Sin embargo un macollaje moderado es adecuado en este cultivo.

Por otro lado, el macollaje en arroz se inicia a partir de cuarta hoja. Este aparecerá desde la axila de la hoja más vieja de la planta. A partir de la aparición del primer macollo, continuará la sucesiva aparición de los otros macollos, a una tasa de un macollo aparecido por hoja aparecida. Si bien plantas aisladas pueden producir entre ocho y veinticinco macollos, en condiciones de campo, la mayoría sólo produce entre uno y tres macollos según el genotipo y la densidad. Cuando culmina la mortandad de macollos, justo antes de la floración, se define el número de panojas.m². Con altas densidades de siembra se forman aproximadamente dos macollos fértiles por planta es decir que, a la cosecha se tendrían unas quinientas panojas.m². La interacción entre las dinámicas de generación y degeneración de macollos es fundamental para la determinación del rendimiento de los cultivos de arroz.

Características del grano y composición química de maíz, sorgo y arroz

La estructura del grano del maíz, del sorgo y del arroz no difiere notoriamente en su constitución, dado que los tres cultivos son cariopses que contienen el pericarpio (desarrollo de las paredes del ovario) y la semilla con los tegumentos seminales, el endosperma y el embrión. El grano de maíz, sorgo y arroz, como la mayoría de los cereales está constituido básicamente por carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y polifenoles. Todos ellos en porcentajes variables como consecuencia de factores genéticos, los que desempeñan una gran función a la hora de determinar la composición del grano y de factores ambientales los que también modifican esta composición.

Existen pequeñas variantes en cuanto a la reserva nutritiva de estos granos. Así, por ejemplo, si bien el almidón es el componente mayoritario del grano en los tres cultivos, el contenido de almidón es levemente mayor en el grano de arroz; la proteína es levemente mayor en sorgo, aunque el de lípidos es mayor en maíz lo que hace que el aceite sea un producto importante en dicho cultivo. La calidad nutricional de las proteínas de arroz supera a la del trigo (*Triticum aestivum* L.) y maíz y es sólo inferior a la avena (*Avena sativa* L.). Según Tang *et al.* (2003) las proteínas del arroz son hipoalergénicas y poseen propiedades, por lo que el arroz es considerado un alimento funcional. Con respecto al sorgo, algunos cultivares presentan taninos condensados (catequinas, flavonoides y leucoantocianinas) en el grano. Estos afectan su valor nutritivo, pues fijan las proteínas del grano e inhiben la acción de la amilasa bajando la digestibilidad de los granos y la eficiencia alimentaria.

Época y densidad de siembra de maíz, sorgo y arroz

El objetivo de elección de la fecha de siembra es ubicar el periodo crítico (PC) del cultivo, en este caso arroz, maíz o sorgo, en un momento del año con escaso déficit hídrico y alta radiación. La ocurrencia de elevadas temperaturas o déficit hídrico en el PC reduce drásticamente el rendimiento. Por otro lado, tanto el arroz como el maíz o el sorgo, son cultivos estivales los cuales requieren temperaturas en el suelo elevadas en comparación a otros cultivos sembrados en la misma época. Cada cultivo posee una temperatura óptima de siembra y una mínima, la cual por debajo de la misma se recomienda no sembrar.

Por un lado, siembras con temperaturas bajas causan una emergencia desuniforme y bajo stand de plantas. Es importante destacar que la densidad de siembra y uniformidad en maíz presenta mayor importancia que en cultivos de arroz y sorgo, dado que estos últimos pueden compensar con mayor o menor emisión de macollos. Además, suelos de textura fina y/o bajo siembra directa son propensos a tener menores temperaturas al momento de la siembra. Por otro lado, elegir una correcta densidad de siembra, permite alcanzar el índice de área foliar (IAF) crítico durante el PC de cada cultivo y así maximizar la captación de luz. Asimismo, la densidad de siembra incide directamente en el número de panojas.m⁻² en arroz y sorgo o de espigas en maíz, un importante componente de rendimiento.

En el caso del maíz, la época de siembra más adecuada en la zona núcleo, es la segunda quincena de Septiembre, aunque en la actualidad hay un alto porcentaje de siembras de Diciembre. En general en las distintas regiones se extiende entre Agosto y Diciembre. El maíz requiere temperaturas de germinación de alrededor de 10 °C, por lo que se debe esperar a que se registren dichas temperaturas para iniciar la siembra. La densidad de siembra varía entre 50 mil y 85 mil plantas.ha⁻¹ según regiones y factores culturales y un atraso en la misma determina que deba disminuirse.

En cuanto a las fechas de siembra del cultivo de sorgo, lo más adecuado es tomar como referencia la temperatura del suelo. El sorgo es un cultivo tropical que requiere temperaturas más elevadas en el suelo que arroz y maíz para germinar. En general se toma como regla una temperatura no menor a 15°C a 5 cm de la superficie del suelo durante al menos tres días. Aunque tradicionalmente se utilizaban 18°C, muchos de los híbridos actuales pueden germinar adecuadamente a temperaturas más bajas, ya que las mínimas se encuentran en 10 a 11°C. Siembras con temperaturas bajas causan generalmente una emergencia desuniforme y disminuyen el stand de plantas. La densidad de siembra varía según el ambiente entre 150 a 250 mil plantas.ha⁻¹ logradas para sorgos graníferos o sileros y entre 350 mil a 600 mil plantas.ha⁻¹ para sorgos forrajeros. Las elevadas densidades en estos últimos genera una mayor proporción de hojas, en detrimento de la producción de tallos de manera que la biomasa aprovechada es mayor.

La época de siembra de arroz se determina en función del cultivar y la zona de producción. Temperaturas de 18 a 25 °C son las más favorables para la germinación y emergencia. Temperaturas menores de 10 a 12 °C reducen la posibilidad de supervivencia de la planta. Así por ejemplo, la época de siembra para la zona norte (Corrientes, Chaco, Formosa, Santa Fe,

Misiones) se extiende desde fines de Agosto a mediados de Diciembre, a medida que nos trasladamos hacia el sur la época va desde mediados de Octubre a mediados de Noviembre. La densidad de siembra para arroz varía entre 200 y 300 plantas.m⁻², dependiendo del ciclo del cultivar, época de siembra y otros factores culturales. A medida que se adelanta la época de siembra, con bajas temperaturas de suelo, se requiere una mayor densidad de siembra para compensar los problemas de implantación. Contrariamente, siembras tardías requieren una menor densidad dado que las condiciones de implantación son más favorables. Para una variedad dada y si se pretende obtener una densidad de 250 plantas.m⁻² a la cantidad de semilla debe agregarse un porcentaje extra según sea el sistema de siembra. No obstante, ese aumento para compensar las pérdidas por implantación debe estar en función del cultivar dado que la respuesta al aumento de la densidad depende del cultivar (alta o baja aptitud de macollaje).

Malezas de maíz, sorgo y arroz

Entre las principales malezas de maíz y sorgo se encuentran las típicas malezas anuales gramíneas y latifoliadas y perennes mencionadas en la Tabla 31.1. En tanto que las malezas de mayor importancia para ambos cultivos son las gramíneas ya sean anuales o perennes; las malezas latifoliadas tienen menor importancia por la mayor posibilidad de control. Por otro lado, las comunidades de malezas presentes en el cultivo de arroz son más variadas que en cultivo de maíz y sorgo, ya que además de la zona de producción, depende del sistema de conducción del cultivo. Se pueden encontrar desde algas (uni o pluricelulares) hasta plantas acuáticas (flotantes libres o arraigadas), plantas palustres emergentes y plantas terrestres. Si bien el número de malezas asociadas al cultivo es alto, sólo unas pocas especies son muy agresivas y ocasionan pérdidas significativas de rendimiento. Al igual que en sorgo y maíz, las malezas de mayor importancia para el cultivo son las gramíneas ya sean anuales o perennes; las malezas latifoliadas tienen menor importancia por la posibilidad de control.

Con respecto al control químico de malezas, los herbicidas utilizados en general pueden ser aplicados en los mismos momentos que en otros cultivos aunque deben tomarse algunas precauciones especiales que definen su eficacia y reducen el impacto ambiental. En el cultivo de arroz para el control de malezas en presiembra se utilizan por lo general herbicidas no selectivos como el glifosato y algunas imidazolinonas (en caso de sembrar cultivares resistentes a este grupo de herbicidas). Dentro de los herbicidas de preemergencia se utilizan productos con mayor residualidad como el clomazone, pendimetalín, oxifluorfen y penoxulan, teniendo cada uno un espectro diferente de control. Al igual que en el caso anterior, si se siembran cultivares resistentes se pueden utilizar herbicidas del grupo de las imidazolinonas. Los herbicidas de posemergencia se aplican después de la emergencia del cultivo y antes de la inundación aunque algunos herbicidas se adaptan a aplicaciones posinundación. Para el control de latifoliadas se utilizan herbicidas como el bentazón, metsulfurón y 2,4-D. Algunos como bispiribac-sodio, penoxulan, pirasulfurón y los del grupo de las imidazolinonas controlan especies gramíneas y latifoliadas. Para el control de gramíneas existen varios herbicidas siendo los más utilizados en la actualidad cihalofop-

butil, profoxdim, fenoxaprop-p-etílico, propanil y quinclorac. Para el control de ciperáceas se aplica bentazón, bispiribac-sodio, penoxulan, fenoxaprop y pirasulfurón e imidazolinonas.

Por otro lado, el control de malezas en maíz y sorgo se realiza básicamente con herbicidas de presiembra en barbecho (glifosato, hormonales, sulfonilureas), herbicidas de preemergencia y posemergencia temprana (metolacoloro, acetoclor para gramíneas y atrazina para latifoliadas), herbicidas hormonales en posemergencia (latifoliadas) y sulfonilureas como nicosulfurón, primisulfurón, halosulfurón (para malezas perennes). Existen asimismo maíces resistentes a diferentes tipos de herbicidas como aquellos resistentes a glifosato, a imidazolinonas y a glufosinato de amonio.

Tabla 1. Principales malezas del cultivo de maíz, sorgo y arroz. Adaptado de Gigón *et al.* (2012), Zorrilla (1998) y Bedmar (2008)

PRINCIPALES MALEZAS EN MAÍZ Y SORGO	PRINCIPALES MALEZAS EN ARROZ
Gramíneas anuales	Gramíneas anuales
Capín (<i>Echinochloa crusgalli</i>)	Arroz rojo (<i>Oryza sativa</i>)
Cola de zorro (<i>Setaria</i> spp.)	Capín (<i>Echinochloa crusgalli</i> y <i>E. colona</i>)
Pasto cuaresma (<i>Digitaria sanguinalis</i>)	Pata de ganso (<i>Eleusine indica</i>)
Pata de ganso (<i>Eleusine indica</i>)	Brachiaria (<i>Brachiaria platyphila</i>)
Latifoliadas anuales	Pasto cuaresma (<i>Digitaria sanguinalis</i>)
Abrojo chico (<i>Xanthium spinosum</i>)	Cola de zorro (<i>Setaria</i> spp.)
Chamico (<i>Datura ferox</i>)	Gramíneas y ciperáceas perennes
Mostacilla (<i>Rapistrum rugosum</i>)	Gramón (<i>Cynodon dactylon</i>)
Nabo (<i>Brassica campestris</i>)	Sorgo de Alepo (<i>Sorghum halepense</i>)
Quinoa (<i>Chenopodium album</i>)	<i>Paspalum distichumb</i> y <i>P. hydrophilum</i>
Verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i>)	<i>Luziola peruviana</i>
Yuyo colorado (<i>Amaranthus quitensis</i>)	<i>Leersia hexandra</i>
Especies perennes	<i>Echinochloa helodes</i>
Cebollín (<i>Cyperus esculentus</i> , <i>C. rotundus</i>)	Cebollín (<i>Cyperus esculentus</i> , <i>C. rotundus</i>)
Enredadera perenne (<i>Convolvulus arvensis</i>)	Latifoliadas
Gramón (<i>Cynodon dactylon</i>)	Camalote (<i>Alternanthera philoxeroides</i>)
Sorgo de Alepo (<i>Sorghum halepense</i>)	Yerba del bicho (<i>Polygonum punctatum</i>)
	Porotillo (<i>Aeschynomene rudis</i>)
	Verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i>)
	Abrojo grande (<i>Xanthiumcavanillesii</i>)

Enfermedades y plagas de maíz, sorgo y arroz

Enfermedades de maíz, sorgo y arroz

En los siguientes párrafos se desarrollará un enfoque comparativo de las principales enfermedades que afectan al cultivo de arroz, maíz y sorgo, considerando los órganos o tejidos que afectan.

Enfermedades de semilla y plántula

Las enfermedades que atacan las semillas y/o plántulas, generan reducciones en el stand de plantas. El período durante el cual germina el grano y se establece la plántula es un momento delicado. En dicho periodo, las semillas en germinación o las raíces de las plántulas pueden ser atacadas por microorganismos provenientes del suelo, que permanecen en el rastrojo o que son trasladados por la misma semilla. Incluso la utilización de semillas con elevado poder germinativo pueden reducir el número de semillas germinadas o reducir el vigor de la plántula si se dan las condiciones favorables para que se desarrolle la enfermedad. Realizar la siembra con condiciones óptimas de temperatura y suelo logrará una rápida emergencia, plántulas sanas y por lo tanto un adecuado stand de plantas.

Los organismos causales de la “podredumbre de la semilla” y la “podredumbre de la plántula”, “tizón de la plántula” o “*damping-off*” en maíz y sorgo son organismos que generalmente se encuentran en el suelo; en su mayoría del género *Pythium* spp., aunque otros organismos del género *Fusarium* spp., *Phoma* spp., *Aspergillus* spp., *Diplodia* ssp. y *Rhizoctonia* spp. también pueden ser responsables de esta afección. Adicionalmente en maíz puede presentarse el virus del mosaico enanizante (Maize Dwarf Mosaic Virus) transmitido por pulgones vectores como el pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maidis*) y el pulgón de los cereales (*Mysus persicae*) que afecta estadios tempranos y ocasiona enanismo de las plantas de maíz.

Por otro lado, en arroz la “mancha castaña” (*Helminthosporium oryzae*) es una enfermedad que se transmite por semilla y puede provocar una disminución en la germinación y muerte de plántulas en menor grado. Este hongo también puede atacar tejidos como hojas, espiguillas y glumas en estadios más avanzados.

Enfermedades de la base de los tallos y raíces

Las enfermedades que afectan tallos y raíces en maíz y sorgo interfieren en los fenómenos de transporte y ocasionan en casos graves el vuelco de las plantas desde su base. La “podredumbre del pie, basal o del tallo” en sorgo es ocasionada por varios patógenos. En tanto la “podredumbre basal y de la raíz” es producida por *Fusarium verticillioides*, la “pudrición carbonosa del tallo” es ocasionada por *Macrophomina phaseolina* y *Bipolaris sorokiniana*. Otra enfermedad que afecta tallos y raíces en sorgo es el “mildiú velloso” o “*downy mildew*” ocasionado por *Peronosclerospora sorghi*.

Asimismo, en el cultivo de maíz los hongos causales de podredumbre y vuelco del tallo son: *F. graminearum*, *F. verticillioides*; *Colletotrichum graminicola*; *M. phaseolina* y *Stenocarpella maydis*. *M. phaseolina*, produce la podredumbre negra o carbonosa, llamada así por la coloración que toma la médula por la presencia de numerosos microesclerocios negros. *S. maydis* ocasiona la “podredumbre por *Diplodia*”, *F. graminearum* produce la “podredumbre por *Gibberella*”; *F. verticillioides* genera la “podredumbre por *Fusarium*” y *C. graminicola* ocasiona la “podredumbre del tallo” y también el “tizón de la hoja” cuando las plantas se acercan a la floración.

Por otro lado, en el tallo del cultivo de arroz se pueden presentar la “podredumbre del tallo” (*Sclerotium oryzae*), el “manchado de las vainas” (*Rhizoctonia oryzae*) y la “mancha lineal” (*Cercospora oryzae*) que además de hojas ataca tallos provocando coloraciones marrones.

Enfermedades de hojas

Las enfermedades foliares afectan al rendimiento a través de la reducción en la intercepción de la radiación y/o el consumo anormal de carbohidratos.

En el cultivo de maíz el “tizón de la hoja”, “quemado de la hoja” o “Helminthosporiosis”, también conocida como “tizón del norte” junto con la “roya común del maíz”, son las enfermedades foliares más destructivas del cultivo de maíz. En tanto la primera es ocasionada por *Exserohilum turcicum*, la segunda es producida por *Puccinia sorghi*. En maíz, además de la roya común se puede presentar la “roya polisorra” o “sureña” ocasionada por *Puccinia polysora* en regiones de temperaturas más elevadas. Otras enfermedades que pueden presentarse en el cultivo de maíz son la “mancha gris” o “mancha lineal” (*Cercospora zeae-maydis*); la “mancha anillada, ocular o en ojo” (*Kabatiella zeae*); la “antracnosis” (*Colletotrichum graminicola*); la “mancha blanca” (*Phaeosphaeria maydis*); la “mancha foliar por *Helminthosporium*” o “Helminthosporiosis” (*Helminthosporium carbonum*) y el “tizón amarillo de la hoja” (*Mycosphaerella zeae-maydis*). Como enfermedad foliar ocasionada por bacterias y virus en maíz se puede mencionar la bacteriosis (*Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*) y el “achaparramiento del maíz” o “*corn stunt*” producido por un virus y dos bacterias, la más usual en Argentina es *Spiroplasma kunkelli*, transmitido por el cicadélido *Dalbulus maidis* y *Exitianus obscurinervis*.

El cultivo de sorgo al igual que el maíz, también es atacado por el “tizón de la hoja”, “quemado de la hoja” o “Helminthosporiosis” y la “antracnosis”. Asimismo, el sorgo también es atacado por otras enfermedades foliares ocasionadas por hongos como la “mancha zonada, de cobre o concéntrica” (*Gloeocercospora sorghi*), la “roya” (*Puccinia purpurea*), la “mancha gris” (*Cercospora sorghi*). Además el cultivo de sorgo es afectado por dos enfermedades foliares ocasionadas por bacterias. La “lista bacteriana”, es considerada como la más común de las bacteriosis y es ocasionada por la bacteria *Pseudomonas andropogonis*. Por otro lado la estría bacteriana es ocasionada por la bacteria *Xanthomonas campestris* pv. *holcicola*.

Con respecto a las enfermedades foliares más importantes que atacan al cultivo de arroz se encuentran la “mancha lineal” (*Cercospora oryzae*) que ataca hojas y tallos, el “quemado del arroz” (*Pyricularia grisea*) que afecta todos los órganos de la planta y puede incidir

durante todo el ciclo del cultivo y la “mancha castaña” (*Helminthosporium oryzae*) que además de afectar hojas se transmite por semilla y puede ocasionar muerte de plántulas.

Enfermedades de Inflorescencias

Las espigas y panoja de maíz, y las panojas de sorgo y arroz, son afectadas por distintas enfermedades que afectan tejidos y generan un uso anormal de carbohidratos.

En tanto que la panoja del maíz puede ser afectada por el carbón de la panoja (*Sphaceloteka reiliana*) y el “crazy top”, “panoja loca” o “escoba de bruja” (*Sclerophthora macrospora*); la espiga del maíz puede ser afectada por el “carbón común o de la espiga” (*Ustilago maydis*) y la podredumbre de la espiga que es ocasionada por diversos tipos de hongos. Así, por ejemplo, la “podrición blanca o seca del maíz” es producida por el hongo *Stenocarpella maydis*; la “podredumbre por *Giberella*” es causada por *G. zeae*; la “podredumbre por *Fusarium*” es ocasionada por *F. verticillioides* y *F. subglutinans*. Otros hongos que también ocasionan podredumbre de la espiga en maíz son *Nigrospora oryzae*; *Aspergillus niger* produce podredumbres de color negro, *Aspergillus flavus* y *Penicillium* spp. podredumbres de color verdoso que pueden continuar en granos almacenados.

Por otro lado, la panoja del cultivo de sorgo puede ser afectada por el “crazy top”, el “ergot”, “rocío azucarado” o “estría roja” (*Sphacelia sorghi*), el “carbón de la panoja” (*Sporisorium reilianum*) el “carbón volador” (*Sporisorium cruentum*) y finalmente el “carbón cubierto o carbón de los granos” (*Sphacelotheca sorghi*). En el cultivo de maíz y sorgo debe destacarse la enfermedad denominada “mal de Río Cuarto”, originada por el virus MRCV. Esta virosis es transmitida por la chicharrita *Delphacodes kuscheli*.

En cuanto a las enfermedades que afectan la panoja del cultivo de arroz se encuentran la “mancha de las glumas”, ocasionada por un complejo de hongos que afectan dichos tejidos produciendo manchas y provocando esterilidad. Los más comunes son del género *Phoma* spp. y *Helminthosporium oryzae*. Más aún, la panoja de arroz también puede ser afectada por el “quemado del arroz” (*Pyricularia grisea*), la cual incide sobre el nudo de la base de la panoja luego se localiza en las ramificaciones de los granos y provoca espiguillas aisladas estériles. Finalmente, la panoja de arroz también es afectada por un desorden fisiológico denominado “pico de loro” o “straight head”.

Enfermedades de los granos

Diversos hongos, algunos de ellos saprófitos, atacan los granos de maíz, sorgo y arroz; tanto en planta como durante el almacenamiento. Estos patógenos no sólo deterioran el grano disminuyendo su valor comercial, además algunos géneros de hongos son productores de toxinas las cuales son perjudiciales para animales y el ser humano.

Los granos de maíz pueden ser afectados por algunas especies de hongos que provocan la podredumbre de espigas y luego atacan a los granos durante el período de almacenamiento. Los agentes causales más comunes pertenecen al género *Penicillium* spp., representados por *oxalicum* y *P. viridicatum* que provocan la afección conocida como “verdín” o “moho verde”.

Otros hongos patógenos frecuentes en granos pertenecen al género *Aspergillus* spp. Los granos afectados por esta podredumbre se observan enmohecidos, de color negro o color verdoso según el patógeno involucrado (*A. niger* y *A. flavus* respectivamente). La importancia no solo radica en las pérdidas de rendimiento que ocasionan sino también porque producen micotoxinas del tipo aflatoxinas (*A. flavus* y *A. niger*) y citrinina (*P. viridicatum*).

Por otro lado, los granos de sorgo pueden ser afectados por el enmohecimiento de los granos, ocasionada por una gran variedad de especies de hongos. Los síntomas de enmohecimiento pueden ser variables y dependerán del momento de infección y del patógeno involucrado. Los agentes causales de la enfermedad son hongos pertenecientes a más de cuarenta géneros, pero sólo unos pocos infectan los tejidos de flores de sorgo durante las primeras etapas de desarrollo del grano. Estos son (en orden aproximado de importancia) *F. moniliforme*, *Curvularia lunata*, *Fusarium pallidoroseum* y *Phoma sorghina*. Las especies de hongos *F. moniliforme* y *C. lunata* son de importancia a nivel mundial. Al igual que en maíz, varios hongos causantes de enmohecimiento son productores de micotoxinas potentes que son perjudiciales para la salud. Micotoxinas tales como las fumonisinas, moniliformina, fusaproliferina, ácido fusárico, fusarinas, beauvericina y ácidos giberélicos son producidas por hongos que pertenecen a la sección Liseola del género *Fusarium* (Leslie 1999). Las fumonisinas son una familia de micotoxinas producidas por *F. moniliforme* y *F. proliferatum* que además del sorgo, estos hongos comúnmente infectan además al maíz y el arroz.

En los granos de arroz se puede observar el “manchado del grano” ocasionado por varios géneros y especies de hongos: *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Bipolaris australiensis*, *B. oryzae*, *Curvularia* spp., *Epicoccum* spp., *Fusarium* spp., *Nigrospora* spp., *Penicillium* spp., *Periconia* spp., *Phoma* spp. y *Rhizopus* spp.

Plagas de maíz, sorgo y arroz

Teniendo en cuenta los concepto de Boote *et al.* (1983) las plagas animales se pueden clasificar en categorías (si bien varios insectos pueden incluirse en más de una).

Reductores del stand

Dentro de los insectos que ocasionan una reducción del stand de plantas se encuentran los insectos de suelo, los cuales cumplen alguna parte de su ciclo en el suelo y pueden afectar tanto a la semilla como a la plántula. Así, por ejemplo para los insectos que afectan la semilla antes o durante la germinación de maíz y sorgo se encuentran los gusanos blancos (*Diloboderus abderus*, *Lyogenis* spp. y *Bothinus* spp.); los gusanos alambre (*Conoderus* spp. y *Agriotes* spp.) y mosca de la semilla (*Delia platura*). Por otra parte, los insectos que atacan las plántulas cortándolas desde la base se encuentran el gusano grasiento, áspero o pardo (*Agrotis* spp. y *Porosagrotis* spp.); la hormiga negra (*Acromyrmex lundii*); la hormiga de color rojo sanguíneo (*Acromyrmex striatus*); la hormiga de color ferruginoso oscuro a negro

(*Acromyrmex lobicornis*) y finalmente, el grillo subterráneo (*Anurogryllus muticus*).

Particularmente en arroz, los insectos que atacan plántulas son el gorgojo acuático (*Oryzophagus oryzae*) y en el caso de sistemas bajo siembra directa los gusanos blancos.

Consumidores de tejidos

Dentro de los insectos consumidores de tejidos en los tres cultivos se encuentran los insectos defoliadores (consumen tejidos foliares, disminuyen el área foliar y la interceptación de la radiación) como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), también conocida como isoca militar tardía; los insectos barrenadores (consumen tejidos, produce galerías en los tallos y ocasiona eventualmente el quebrado del mismo), como el barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*) y el barrenador menor del maíz (*Elasmopalpus lignosellus*). En maíz además se encuentra el gorgojo de la corona (*Listronotus bonariensis*) y la vaquita de San Antonio (*Diabrotica speciosa*) que ataca hojas y corta los estigmas en su estado adulto, mientras que las larvas consumen tejidos de la base de tallos jóvenes y raíces. Asimismo en este cultivo se encuentran insectos desgranadores (consumen granos) como la isoca de la espiga (*Helicoverpa zea*), los gorgojos (*Sitophilus oryzae* y *S. granarius*) y la palomita de los cereales (*Sitotroga cerealella*). El cultivo de sorgo es además atacado por el astilo moteado (*Astylus atromaculatus*) y la mosquita del sorgo (*Contarinia sorghicola*). Como plaga importante en el cultivo de arroz se destaca el gorgojo acuático que ataca las raíces y hojas el estado de larva y adulto respectivamente.

Reductores de fotosíntesis y/o respiración y succionadores

Dentro de esta categoría se agrupan insectos que poseen aparato bucal picador-suctor. Los mismos pueden atacar en distintos órganos o estadios, con el agravante de que algunos poseen saliva tóxica o son transmisores de virus. El maíz es atacado por la chinche verde (*Nezara viridula*) que succiona granos lechosos y pastosos, la chinche de los cuernos (*Dichelops furcatus*); así como también por el pulgón del maíz y la chicharrita vector del mal de Río Cuarto, ambos transmisores de virus (el mosaico enanizante y el mal de Río Cuarto).

El sorgo también es afectado por la chinche verde, el pulgón del maíz y la chicharrita vectora del virus del mal de Río Cuarto, pero además lo ataca el pulgón verde *Schizaphis graminum*.

Finalmente como plagas succionadoras importantes del cultivo de arroz se pueden mencionar la chinche grande del tallo (*Tibraca limbativentris*) y la chinche chica del grano (*Oevalus poecillus*).

Principales destinos y procesamiento de maíz, sorgo y arroz

El maíz y el sorgo son mayormente utilizados para consumo animal (grano en forma directa o ensilado). El procesamiento de maíz se realiza a través de molienda seca o húmeda. La molienda seca se utiliza principalmente para maíz duro, y da como resultado

harinas (entre ellas, la denominada polenta), féculas, maíz pisado para alimentación humana (copos de maíz) y como subproductos: afrecho y germen. El “degerminado” previo a la molienda permite la extracción de aceite del embrión. El procedimiento de molienda húmeda, que es el más utilizado, se caracteriza por tener un periodo de remojo más prolongado, que posibilita separar el almidón de las proteínas. Este tipo de molienda conduce a la obtención de almidón (maicena), aceite y varios subproductos, entre ellos el “*gluten meal*” y el “*gluten feed*” y alcoholes entre ellos el etanol.

Por otro lado, los usos del sorgo son múltiples y dependen de su genética, se puede utilizar para consumo humano y para la alimentación animal; así mismo también posee propiedades como insumo para la producción de papel, adhesivos, refinamiento de minerales y elaboración de embutidos, entre otros usos industriales. El sorgo es una de las fuentes principales de alimentos del hombre en todo el mundo, principalmente en países de África y Asia. Sin embargo, en la mayoría de los países desarrollados y en algunos países de Sudamérica como en Argentina, el uso principal del sorgo radica en la alimentación animal principalmente de bovinos, así como también de porcinos y aves. Particularmente en las aves se utiliza como ingrediente del balanceado destinado a su alimentación. A diferencia del maíz, el sorgo carece de pigmentos carotenoides, los cuales aunque no tienen valor nutritivo, en el caso de las aves son importantes ya que intervienen en la coloración de la piel y yema de los huevos. Adicionalmente en el uso del grano de sorgo como alimento animal se debe tener en cuenta la presencia de taninos condensados, como ya ha sido mencionado. Dichos taninos en el grano tienen efectos detrimentales sobre el valor nutricional, ya que se ligan a las proteínas y las precipitan reduciendo de esta manera tanto la proteína total como su digestibilidad e inhibiendo la actividad de varios sistemas enzimáticos. En estos casos se requiere que el tanino sea previamente desactivado (Chessa, 2001). De la molienda seca de sorgo se obtienen sémolas y harinas, empeladas en alimentación humana. Las harinas de baja proteína se utilizan en la industria de los adhesivos, en la construcción y en los barros de perforación de pozos de petróleo. El residuo se utiliza para alimentos balanceados. De la molienda húmeda se obtiene almidón y sus derivados, con aceites comestibles y gluten como subproductos. El almidón se utiliza en productos de alimentación, adhesivos y aprestos. Además de la industria de fermentación se utiliza el grano de sorgo para bebidas, destilación y fabricación de alcohol industrial.

Por otra parte, el principal destino del arroz es para consumo humano. Solo una pequeña parte del arroz se utiliza para consumo animal, y es la que corresponde a los subproductos de la molienda. El grano entero pulido de arroz, es la forma que más se consume en nuestro país y está constituido esencialmente 92% de hidratos de carbono (fundamentalmente almidón) y el resto proteína. Desde este punto de vista es un alimento altamente energético con un bajo nivel de proteínas aunque de excelente calidad. El proceso de industrialización tradicional del arroz, involucra las actividades que transforman el arroz con cáscara en arroz blanco o pulido.

A diferencia de maíz y sorgo, en donde el grano es molido para convertirlo por ejemplo en harina, el objetivo de la molienda de arroz consiste en obtener la mayor cantidad posible de

granos enteros. Si bien en Argentina como en la gran mayoría de los países consumidores, el uso más difundido de este cereal es como grano pulido, en la actualidad ha incrementando el interés por consumir arroz integral (solamente descascarado) ya que los granos enteros son ricos en fibra, vitaminas del complejo B, minerales y antioxidantes. Además de la utilización del grano entero existen subproductos industriales como el arroz partido y el salvado de arroz, de bajo valor comercial por su escasa funcionalidad. A partir de estos productos se pueden obtener ingredientes que, presentando buenas propiedades nutricionales y funcionales, constituyan un aporte para la industria alimentaria. Es así como la industria procesa el arroz partido y la harina de arroz para la obtención de almidón quedando la proteína como subproducto no aprovechado.

Bibliografía

- Bedmar F. (2008). *Malezas en el cultivo de maíz*. En: Producción de maíz. E. Satorre (Coord.). 1^{er} Edición. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA). pp. 77- 84.
- Boote K.J., Jones J.W., Mishoe J.W. & Berger R.D. (1983). *Coupling pests to crop growth simulators to predict yield reductions*. *Phytopathology* 73:1581-1587.
- Cárcova J., Borrás L. & Otegui M.E. (2003). *Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz*. En: Producción de granos, bases funcionales para su manejo. H.E. Satorre, R.L. Benech Arnold, G.A. Slafer, E. B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui & R. Savin (Coord.). 1^{er} Edición. Editorial Facultad de Agronomía UBA. 782 pp.
- Carrasco N., Zamora M., Melin A., Bolletta A., Marinissen J., Gigón R., Forján H., Lagrange S., Campos P., Manso L. & Cicchino M. (2011). *Manual de Sorgo*. N. Carrasco, M. Zamora & A. Melin (Eds.). 1^{er} Edición. Chacra Experimental Barrow. Ediciones INTA. 96 pp.
- Chessa A. (2001). *Calidad del sorgo granífero: su valor nutritivo depende del contenido de taninos condensados, aprendamos a reconocer su presencia*. *Revista Forrajes y Granos*. pp 3.
- Gamarra G. (1996). *Manual de producción de arroz*. Uruguay. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. 439 pp.
- Gambín, B. & Borrás, L. (2007). *Plasticity of sorghum kernel weight to increase assimilate availability*. *Field Crops Research* 100: 272-284.
- Gambín, B. & Batlla D. (2012). *Determinación del rendimiento*. En: Producción de sorgo granífero. E. Satorre (Coord.). 1^{er} Edición. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA). pp. 13-18.
- Gigón R., Vigna M. & López R. (2012). *Malezas*. En: Producción de sorgo granífero. E. Satorre (Coord.). 1^{er} Edición. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA). pp. 41- 44.

- House L.R. (1985). *A guide to sorghum breeding*. Patancheru Andhra Pradesh India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. pp 165.
- Itoh J.I., Nonomura K.I., Ikeda K., Yamaki S., Inukai Y., Yamagishi H., Kitano H. & Nagato Y. (2005). *Rice Plant Development: from Zygote to Spikelet*. 2005. *Plant Cell Physiology* 46: 23-47.
- Lejeune P. & Bernier G. (1996). *Effect of the environment on the early steps of ear initiation in maize (Zea mays L.)*. *Plant, Cell and Environment* 19:217-224.
- Otegui M.E. (1997). *Kernel set and flower synchrony within the ear of maize*. II Plant Population effects. *Crop Science* 37: 448- 455.
- Tang S., Hettiarachchy N. S., Horax R. & Eswaranandam S. (2003). *Physicochemical properties and functionality of rice bran protein hydrolyzate prepared from heat-stabilized defatted rice bran with the aid of enzymes*. *Journal of Food Science* 68: 152-157.
- Zorrilla H. (1998). *Malezas en el cultivo de arroz*. En: *Arroz; Cuaderno de actualización técnica N° 61*. J.M. Vallacco (Coord.). Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA). pp. 62- 80.

Los autores

María Rosa Simón

Ingeniera Agrónoma, FCAyF, UNLP. Master Crop Science, Wageningen University, PhD Crop Ecology and Resource Conservation, Wagenigen University, Holanda. Profesora Titular de Cerealicultura FCAyF, UNLP. Docente Investigadora Departamento de Tecnología Agropecuaria y Forestal, FCAyF, UNLP. Investigadora Principal Asociada CICPBA.

Silvina Inés Golik

Ingeniera Agrónoma, FCAyF, Doctora en Agronomía FCAyF, UNLP. Profesora Adjunta Cerealicultura FCAyF UNLP. Docente Investigadora Departamento de Tecnología Agropecuaria y Forestal, FCAyF, UNLP.

Rodolfo Bezus

Ingeniero Agrónomo, FCAyF, UNLP. Sub-coordinador del Programa Arroz. FCAyF. Jefe de Trabajos Prácticos Oleaginosas FCAyF, UNLP. Docente Investigador Departamento de Tecnología Agropecuaria y Forestal, FCAyF, UNLP.

Carlos Campanela

Ingeniero Agrónomo, FCAyF, UNLP, ex Jefe de Trabajos Prácticos de Cerealicultura, FCAyF, UNLP, asesor privado, Director técnico semillero Granel Sur S.A.

Juan Ignacio Dietz

Ingeniero Agrónomo, FCAyF, UNLP. Becario Interno Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el curso de Cerealicultura, Alumno del Doctorado FCAyF, UNLP. Master en Protección Vegetal, FCAyF, UNLP.

María Constanza Fleitas

Ingeniera Agrónoma, FCAyF, UNLP. Doctora en Agronomía, FCAyF y becaria postdoctoral de CONICET en el curso de Cerealicultura, FCAyF, UNLP. Alumna de la carrera de Especialización en Protección Vegetal FCAyF, UNLP. Ayudante de Cerealicultura

Guillermo Sebastián Gerard

Ingeniero Agrónomo, FCA, UNER. Doctor en Agronomía, FCAyF, UNLP y becario postdoctoral de CONICET en el Curso de Cerealicultura, FCAyF, UNLP. Docente Adscripto de Cerealicultura.

Silvina Larran

Ingeniera Agrónoma, FCAyF, UNLP. Doctora en Agronomía, FCAyF. Ayudante Diplomada Fitopatología y Ayudante Diplomada Cerealicultura, FCAyF, UNLP. Docente-investigadora del Departamento de Ciencias Biológicas, FCAyF. Especialista en Docencia Universitaria, UNLP.

Matías Schierenbeck

Ingeniero Agrónomo, FCAyF-UNLP. Becario Postdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el curso de Cerealicultura. Diplomado en Sanidad de Cultivos Extensivos (Facultad de Ciencias Agrarias, UNLZ). Master en Protección Vegetal, FCAyF, UNLP. Doctor en Agronomía de la FCAyF, UNLP. Docente Adscripto de Cerealicultura.

María Soledad Zuluaga

Ingeniera Agrónoma, FCAyF, UNLP. Ayudante Diplomada Ordinaria Cerealicultura, FCAyF, UNLP. Docente-Investigadora del Departamento de Tecnología Agropecuaria.

Juan Pablo Uranga

Ingeniero Agrónomo FCAyF, UNLP. Becario doctoral de CONICET en el curso de Cerealicultura. Alumno del Doctorado de la FCAyF, UNLP

Alfonso Andrés Vidal

Ingeniero Agrónomo FCAyF, UNLP. Coordinador del Programa Arroz, FCAyF, UNLP. Jefe de Trabajos Prácticos Cerealicultura. Docente-Investigador del Departamento de Tecnología Agropecuaria y Forestal.

Cereales de verano / María Rosa Simón ... [et al.] ; coordinación general de María Rosa Simón ; Silvina Inés Golik. - 1a edición para el alumno. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; La Plata : EDULP, 2018.
Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-34-1658-7

1. Cereal. 2. Producción . I. Simón, María Rosa II. Simón, María Rosa, coord. III. Golik, Silvina Inés, coord.
CDD 633.1

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
47 N.º 380 / La Plata B1900AJP / Buenos Aires, Argentina
+54 221 427 3992 / 427 4898
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2018
ISBN 978-950-34-1658-7
©2018-Edulp

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA