

Libros de **Cátedra**

Cereales de verano

María Rosa Simón y Silvina Inés Golik (coordinadoras)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

CEREALES DE VERANO

María Rosa Simón
Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Dedicatorias

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

Agradecimiento

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

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

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

Índice

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

Capítulo 10

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

Capítulo 11

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

Capítulo 12

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

Capítulo 13

Sorgo: Época y densidad de siembra_____ 244
Silvina Golik

Capítulo 14

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

Capítulo 15

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

Capítulo 16

Sorgo: Manejo de plagas_____ 279
María Rosa Simón

Capítulo 17

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

Capítulo 18

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

Capítulo 19

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

Capítulo 20

Sorgo: Objetivos del mejoramiento genético_____ 316

María Rosa Simón, Guillermo Gerard

Capítulo 21

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

Alfonso Vidal

Capítulo 22

Arroz: Crecimiento y desarrollo_____ 341

Alfonso Vidal

Capítulo 23

Arroz: Época y densidad de siembra_____ 352

Alfonso Vidal

Capítulo 24

Arroz: Fertilización y rotaciones_____ 356

Rodolfo Bezus

Capítulo 25

Arroz: Manejo de enfermedades_____ 364

Alfonso Vidal, María Constanza Fleitas

Capítulo 26

Arroz: Manejo de plagas_____ 373

Alfonso Vidal

Capítulo 27

Arroz: Manejo de malezas_____ 380

Rodolfo Bezus

Capítulo 28

Arroz: Zonas de cultivo_____ 392

Alfonso Vidal

Capítulo 29

Arroz: Usos y comercialización_____ 397

Alfonso Vidal

Capítulo 30

Arroz: Objetivos del mejoramiento genético_____405

Alfonso Vidal

Capítulo 31

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

María Rosa Simón, María Constanza Fleitas

Los autores_____427

CAPÍTULO 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 desfase 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 prever la ubicación del período crítico.

2º subperiodo: 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.

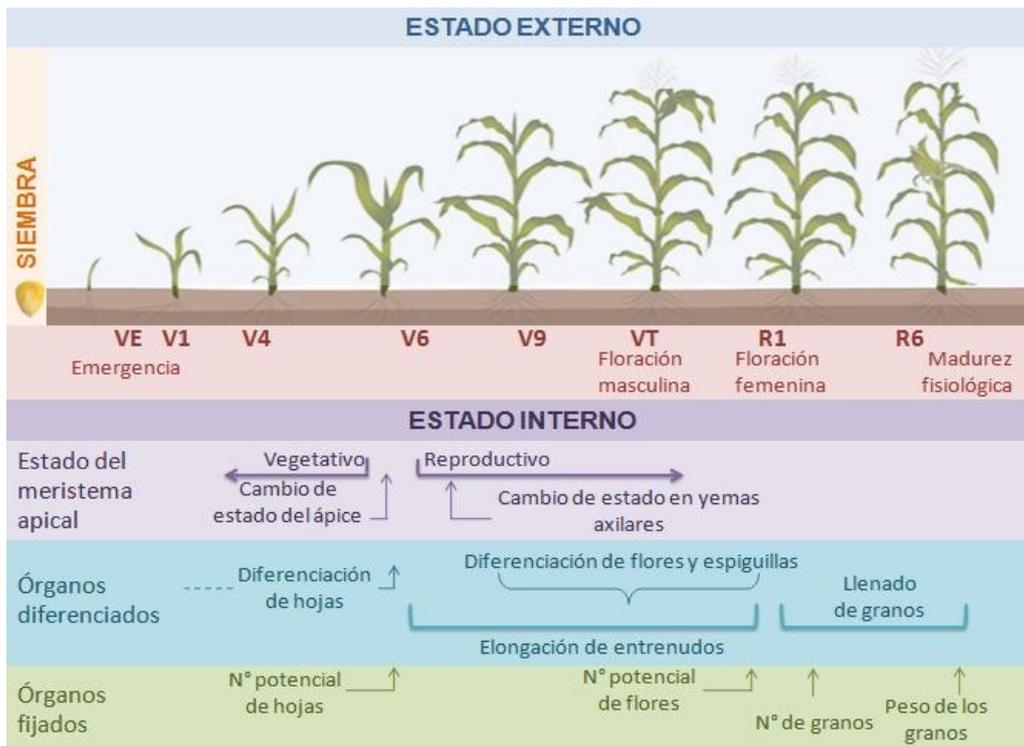


Figura 2.1. Ciclo ontogénico del maíz. Adaptado de Andrade *et al.* (1996)

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 antesis (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).

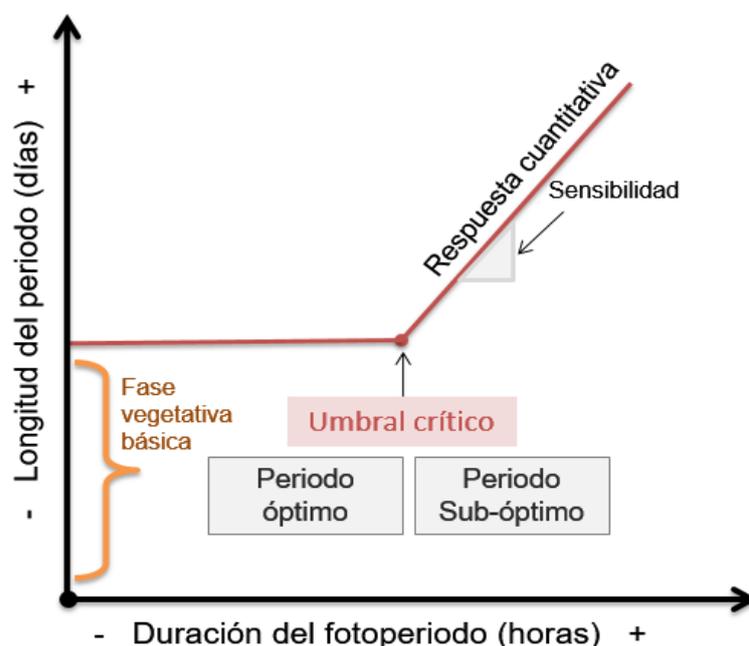


Figura 2.2. Esquema de la respuesta del desarrollo físico al fotoperíodo mostrando respuestas cualitativas y cuantitativas para una especie de días cortos (maíz). Adaptado de Otegui *et al.* (2003)

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.