



PIONEER



Maíz

Crecimiento y desarrollo



CORTEVA[™]
agriscience



INTRODUCCIÓN

Corn Growth and Development de DuPont Pioneer es una referencia que ayuda a comprender las diversas etapas vegetativas y reproductivas del maíz. Este documento tiene como propósito ser conciso, educativo e informativo para aquellas personas que trabajan con el maíz y lo producen. Todos los empleados de DuPont Pioneer tienen derechos exclusivos para utilizar este documento y citar información directamente sin restricción. Las imágenes fotográficas que aparecen en la guía de referencia Corn Growth and Development están sujetas a protección de derechos de autor.

Para este documento, hemos elegido analizar solamente las etapas fisiológicas del desarrollo del maíz sin realizar recomendaciones sobre la labranza, los nutrientes y otras decisiones variables del manejo del maíz ya que cambian de un país a otro, y dentro de los países. Hay muchos otros recursos locales y de DuPont Pioneer que ayudan a tomar decisiones de manejo del maíz.

Visite www.pioneer.com para obtener más información agronómica o comuníquese con su representante de ventas de Pioneer local o agrónomo de DuPont Pioneer.

COLABORADORES

Sandy Endicott
Brent Brueland
Ray Keith
Ryan Schon
Chuck Bremer
Dale Farnham
Jason DeBruin
Curt Clausen
Stephen Strachan
Paul Carter

Diseño y presentación de April Battani

ÍNDICE

Maíz: El rey de los cultivos	4	Germinación y emergencia (VE)	11
Henry Agard Wallace	5	Etapas vegetativas tempranas (de V1 a V5)	12
Híbridos de maíz	5	Etapas vegetativas intermedias (de V6 a V11)	13
Teocinte: El ancestro del maíz moderno	6	Etapas vegetativas tardías (de V12 a VT)	13
La planta de maíz	6	Etapas de transición (de VT a R1)	14
Crecimiento y desarrollo	8	Etapas de aparición de los estigmas (R1)	15
Grados-día de crecimiento	8	Etapas de “blíster” (R2)	15
Determinación de las etapas de desarrollo del maíz	9	Etapas de grano lechoso (R3)	16
Etapas vegetativas	9	Etapas de grano pastoso (R4)	16
Madurez relativa	10	Etapas de grano dentado (R5)	17
Etapas reproductivas	10	Madurez fisiológica (R6)	18
Siete componentes clave de una plántula de maíz	10	Secado de granos	19

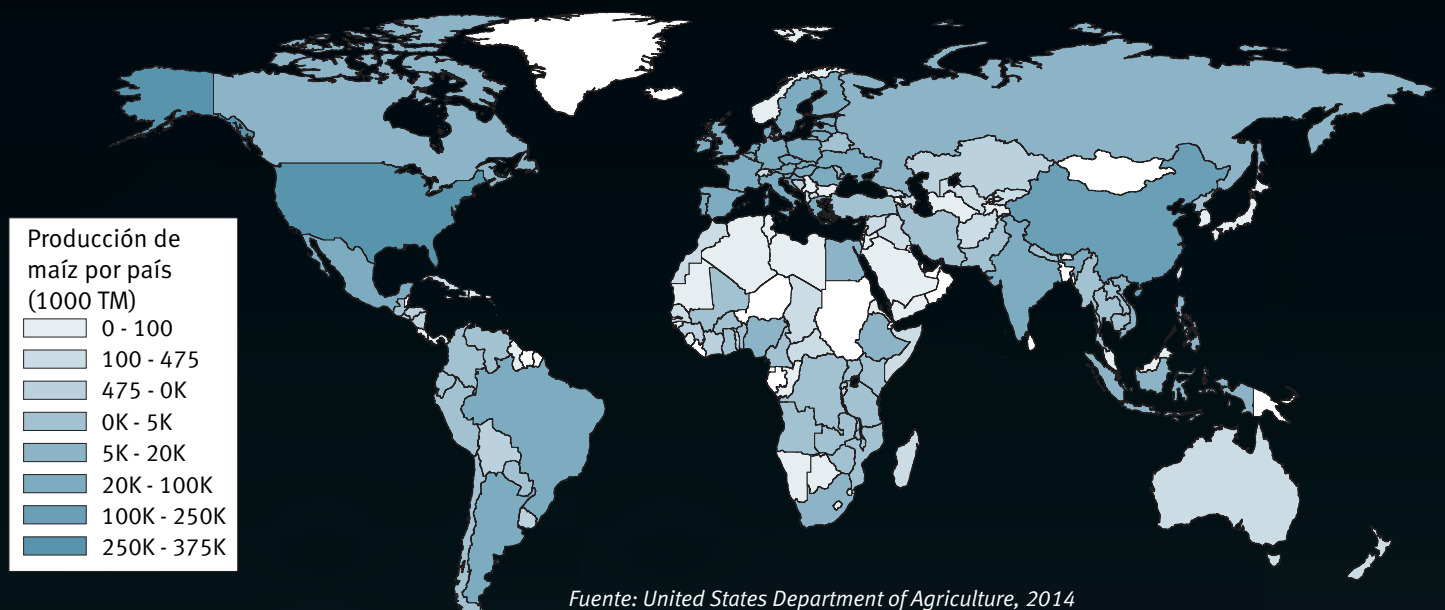




MAÍZ: EL REY DE LOS CULTIVOS

El maíz (*Zea mays*, L.), o mazorca de maíz, como se lo conoce en muchas áreas fuera de los Estados Unidos, se cultiva para grano o ensilado en casi 464 millones de acres (188 millones de hectáreas) en todo el mundo. En la última década, el área total de maíz aumentó más de un 20 por ciento, y la mayor parte de ese crecimiento se produjo fuera de los Estados Unidos.

Solamente en los Estados Unidos se produce más del 35 por ciento del total de granos de maíz del mundo. Aunque el área total de trigo supera el de maíz, y el área de arroz es casi tan grande como el de maíz, la producción global de maíz (toneladas) supera ampliamente ambas. Por ello, la producción de maíz desempeña un papel importante en la agricultura mundial, tanto a nivel económico como agronómico.



HENRY AGARD WALLACE

conoció la agricultura por su padre, un granjero, profesor universitario y exministro de Agricultura. Wallace se interesó mucho en el maíz en 1903, a la edad de 15 años, cuando vio al profesor Perry G. Holden del estado de Iowa evaluar una exposición de maíz. Se preguntó qué sucedería con las mazorcas de maíz premiadas en el campo. La primavera siguiente, el padre de Wallace (Henry Cantwell Wallace)



lo alentó a que sembrara granos de las “mejores” y “peores” muestras uno al lado del otro. Cuando llegó el momento de la cosecha de otoño, Holden y los Wallace se sorprendieron al ver que el rendimiento más alto era de las muestras que Holden había considerado entre las peores. Desde ese momento, Wallace hizo campaña contra las exposiciones de maíz de “mazorca bonita” hasta que estas perdieron importancia en la década de 1930.

En 1910, Wallace se graduó como el mejor alumno del Colegio de Agricultura del estado de Iowa. Durante sus años de estudio, se había interesado en el cultivo de maíz de línea pura del Dr. George Shull, una práctica que estimulaba sus propias ideas para la mejora de variedades de maíz. En 1913, produjo su primer híbrido en su propio jardín trasero de Des Moines. En 1926, Wallace formó lo que llamaría “Hi-Bred Corn Company” con un pequeño grupo de hombres de negocios de Des Moines.

A mediados de 1930, se agregó “Pioneer” al título para diferenciarlo de otras compañías de híbridos que habían surgido en otros lugares. Mirando más allá de la práctica habitual de guardar las semillas del cultivo de un año para sembrarlas al año siguiente, Wallace consideró la posibilidad de mejorar la producción de maíz a través de la endogamia seleccionada de variedades. Estaba convencido de que cultivar maíz a partir de semillas híbridas era la tendencia del futuro y de que había un amplio mercado para el producto una vez que los granjeros pudieran convencerse de sus beneficios.

Para fines de 1930, Pioneer había extendido sus actividades de venta de maíz a Minnesota y Dakota del Sur, y hacia el este a Illinois, Indiana y Ohio. Ya para la Segunda Guerra Mundial, Pioneer era uno de los principales proveedores de semillas híbridas de maíz sembradas en el país, lo que representaba el 90 por ciento del maíz híbrido cultivado por los granjeros en los estados del “cinturón de maíz” de los Estados Unidos (Iowa, Illinois, Indiana, Ohio, Minnesota, Nebraska, Kansas, Misuri y Dakota del Sur).

Wallace dejó Pioneer en 1933 para convertirse en el ministro de Agricultura de los Estados Unidos, y, con el tiempo, se convirtió en el vicepresidente de los Estados Unidos (1941-1945) durante el gobierno de Franklin D. Roosevelt.

En la década de 1960, los miembros de Pioneer compartían un profundo interés por mejorar los suministros de alimentos en el mundo, y creían que la compañía debía aplicar su experiencia genética en todo momento, lo que llevó a Pioneer a expandir enormemente sus operaciones en el extranjero.

HÍBRIDOS DE MAÍZ

Los híbridos de maíz modernos tienen poca semejanza con el ancestro más lejano del maíz, el teocinte.

Un híbrido de maíz se produce cuando el polen de una línea endogámica se usa para polinizar los estigmas de otra línea endogámica. Una vez que ocurre esto, se produce la heterosis, o vigor híbrido, y las plantas producidas a partir de las semillas híbridas suelen ser más resistentes y con características mejoradas, lo que incluye un mayor rendimiento del grano. Cuanto menos relacionadas están las dos endogamias, más heterosis se produce.

La producción de semillas híbridas depende del uso de las líneas endogámicas, que se desarrollan mediante la autopolinización de estigmas por el polen producido en la misma planta. Este proceso se repite a lo largo de varias generaciones, hasta que la línea endogámica se considera genéticamente pura y lo más homocigótica posible.

Antes de la década de 1930, las “razas” o “variedades” de maíz eran polinizadas abiertas. En la cosecha, los granjeros seleccionaban visualmente las mazorcas más grandes y de mejor aspecto y guardaban los granos para sembrarlos en la próxima estación. Este método dio como resultado una selección “involuntaria” de ciertas características, favorables o desfavorables. A medida que este proceso continuó, ciertas razas o variedades fueron seleccionadas con características definidas en diferentes regiones y se les dieron nombres locales, como Bloody Butcher, etc. En algunas áreas de producción de maíz del mundo, aún se utilizan diversas versiones de este proceso.

En los Estados Unidos se comenzó a usar semillas de maíz híbrido a principios de la década de 1920. El rendimiento del maíz híbrido fue demostrado en los años adversos de la década de 1930, cuando la demanda agrícola de semillas híbridas aumentó considerablemente (Troyer, 2009). En los primeros años del uso de híbridos, la mayor parte fue el resultado de la cruce doble de reservas parentales, que usó cuatro líneas endogámicas parentales. A partir de la década de 1950, predominaron los híbridos de cruce única, mediante el uso de solo dos líneas endogámicas parentales, y ahora casi todas las semillas de maíz híbrido en los Estados Unidos constan de cruces únicas. Muchas áreas de producción de maíz fuera de los Estados Unidos aún usan híbridos de cruce doble y triple.

Los híbridos modernos en los Estados Unidos a menudo son el resultado de la cruce de las selecciones de maíz dentado del sudeste con las selecciones de maíz indio del noreste (Galinat, 1988). (Figura 1)

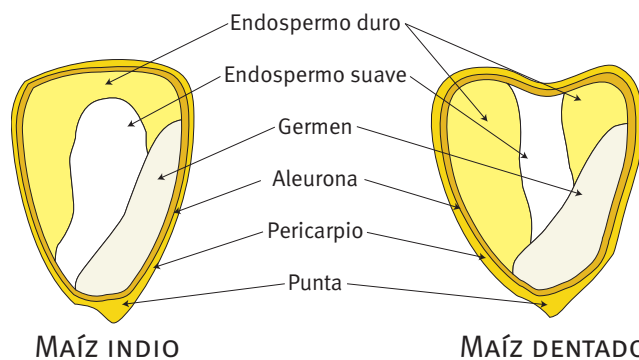
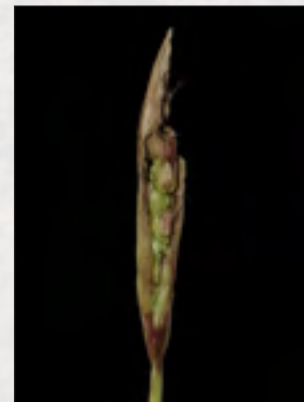


Figura 1. Comparación de los componentes de los granos dentados e indios típicos.

TEOCINTE: EL ANCESTRO DEL MAÍZ MODERNO

Teocinte es una gramínea anual originaria de México y América Central. Aproximadamente hace 9000 años, los granjeros comenzaron a seleccionar plantas con ciertas mutaciones y, a través de una serie de selecciones que consistieron de solo unas cinco mutaciones genéticas, se desarrolló el moderno *Zea mays*. Las imágenes a la derecha muestran una planta teocinte, panoja y mazorca, de izquierda a derecha respectivamente.



Las imágenes de teocinte son cortesía de Tom Schultz, de DuPont Pioneer

LA PLANTA DE MAÍZ

El maíz es una planta hermafrodita, lo que significa que produce flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La panoja (flor masculina) produce polen (Figura 2), mientras que la mazorca (flor femenina) produce los óvulos que se convierten en la semilla (Figura 3).

Como se muestra en la Figura 4, hay una separación vertical de alrededor de tres a cuatro pies (1 metro) entre las flores, lo que puede contribuir al desafío de una polinización exitosa.

En términos de producción, la panoja puede producir más de 1 000 000 de granos de polen, y la mazorca puede producir más de 1000 estigmas. En consecuencia, hay aproximadamente de 1000 a 1500 veces más granos de polen que estigmas producidos. En teoría, de 20 a 30 plantas podrían fertilizar todos los estigmas en 1 acre (0,405 hectáreas), pero no todo el polen desprendido por una planta cae en un estigma.



Figura 2. Panoja de maíz completamente emergida (flor masculina).



Figura 3. Mazorca de maíz inmadura (flor femenina) que muestra estigmas emergentes.

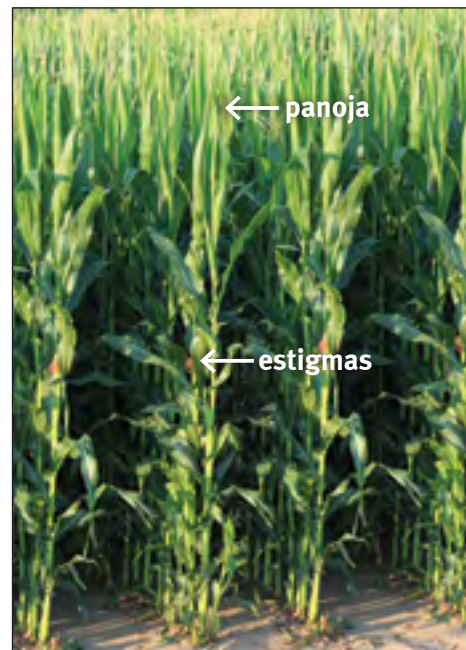


Figura 4. Separación vertical entre las flores masculina y femenina en una planta de maíz.



Figura 5. Panoja de maíz durante el desprendimiento de polen.

El desprendimiento de polen se produce de forma discontinua durante un período de aproximadamente cinco a ocho días, y solo sucede cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables (Figura 5). La hora pico para que el polen se desprenda es desde la mitad hasta el final de la mañana. La vida útil promedio de un grano de polen es de aproximadamente 20 minutos después de que se desprende, y la mayor parte del polen que desprende una planta cae de 20 a 50 pies (de 6 a 15 metros) de esa planta. Sin embargo, el viento puede transportar el polen por distancias mucho mayores. Se calcula que aproximadamente el 97 por ciento de los granos producidos son fertilizados con polen de otra planta.

Los estigmas emergen de la chala durante un período de tres a cinco días, comenzando por los estigmas adheridos en la parte mediana de la mazorca y avanzando hacia la punta de la mazorca. Según el ambiente, un estigma continúa creciendo durante aproximadamente siete días o hasta que intercepta los granos de polen (Figura 6). Estudios de investigación han demostrado que, normalmente, un mínimo de cinco granos de polen deben caer en cada estigma e iniciar el crecimiento del tubo polínico (Figura 7) para garantizar que el material genético de uno de estos granos de polen tenga éxito y fertilice completamente el óvulo. Inmediatamente después de la fertilización, el óvulo crea una capa de abscisión en la base del estigma que impide la entrada de material genético de otros granos de polen. El estigma luego se desprende de grano en desarrollo, comienza a desecarse y se vuelve de color marrón. Si el óvulo no es fertilizado exitosamente en esta ventana de siete días, el estigma muere, el óvulo no fertilizado eventualmente desaparece, y la parte del elote al que está adherido este óvulo se vuelve estéril.



Figura 6. Polen adherido a los tricomas del estigma.

Cortesía del Dr. Don Aylor, de la Universidad de Connecticut.

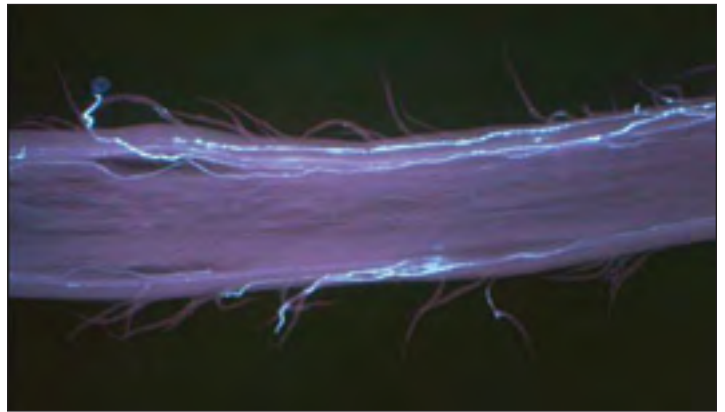


Figura 7. Tubos polínicos creciendo a lo largo del tejido vascular del estigma.

Cortesía del Dr. Antonio Perdomo, de DuPont Pioneer.

El conjunto de granos (granos crecimiento activamente después de la polinización) puede examinarse dos o tres días después de que termina el desprendimiento del polen al quitar cuidadosamente las chalas de una mazorca y, luego, al sacudir suavemente la mazorca para ver si los estigmas están desprendidos. Los estigmas desprenden los óvulos que han sido fertilizado exitosamente (granos), pero cualquier óvulo que conserve un estigma no ha sido fertilizado y no se desarrollará ningún grano (Figura 8).



Figura 8. Mazorca de maíz en la R1 sin las chalas, que muestra los estigmas adheridos donde los óvulos no fueron polinizados. (R = Etapas reproductivas del desarrollo, R1 = Aparición de los estigmas).

Cortesía de Sandy Endicott, de DuPont Pioneer.

Es importante que el desprendimiento del polen y la emergencia de los estigmas sucedan al mismo tiempo para garantizar una correcta polinización, que se denomina “nick”. Sin embargo, actualmente con los híbridos modernos, no es inusual ver estigmas emergiendo de las chalas uno o dos días antes de que se produzca la emergencia total de la panoja. Este es un gran cambio desde los híbridos de hace algunas décadas, y ha dado como resultado un proceso de polinización mucho mejor y rendimientos más altos.

Figura 9. Mazorcas que muestran los resultados de la exposición del polen de uno a siete días antes de tener colocada una bolsa para detener la polinización.

Cortesía de Jason DeBruin, de DuPont Pioneer.

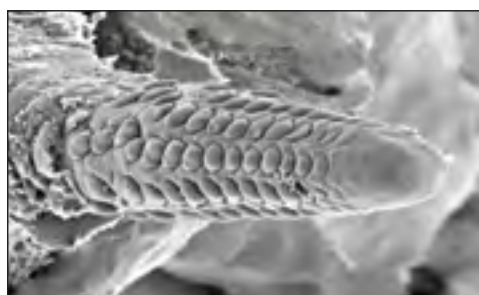


Figura 10. Desarrollo de la mazorca principal en la V9 (izquierda) y la V12 (derecha). La mazorca de la V9 muestra el nodo 14 (domo ~ 400µm). (V = Etapas vegetativas del desarrollo).

Cortesía del Dr. Antonio Perdomo, de DuPont Pioneer.

CRECIMIENTO Y DESARROLLO

En la terminología de los productores de maíz, quizás no haya dos términos usados más frecuentemente que “crecimiento” y “desarrollo”. Los dos términos se suelen usar como sinónimos cuando, en realidad, tienen diferentes significados. El crecimiento es simplemente un aumento de tamaño, y se incrementa mediante condiciones de crecimiento favorables (humedad, nutrientes y temperatura adecuados, etc.) y disminuye mediante condiciones de crecimiento estresantes (temperaturas anormales, deficiencias en nutrientes, humedad, etc.). El desarrollo es la progresión de una etapa a otra etapa más avanzada o madura de la planta.

La radiación solar es un aporte fundamental para el crecimiento y desarrollo de la planta. Las hojas de las plantas absorben la luz solar y la utilizan como una fuente de energía para la fotosíntesis. La capacidad de un cultivo de capturar la luz solar es proporcional al área de su superficie foliar por unidad de terreno ocupado, o al índice de su área foliar (LAI, por sus siglas en inglés). Cuando está totalmente cubierto, el LAI de un cultivo y la capacidad para capturar la luz solar disponible están maximizados. Desde la cobertura total hasta el período reproductivo, toda escasez de luz solar puede limitar el rendimiento del cultivo. Cuando las situaciones estresantes como la poca luz limitan la fotosíntesis durante el llenado de los granos, las plantas de maíz remobilizan los carbohidratos del tallo a la mazorca. Esto puede generar problemas de calidad y quebrado de tallos en la cosecha. Los períodos sensibles de desarrollo de cultivo, como la floración y el llenado de granos temprano, tienen lugar cuando las plantas están más susceptibles a las situaciones estresantes, por ejemplo, luz, agua o nutrientes insuficientes.



GRADOS-DÍA DE CRECIMIENTO

Se ha demostrado que el tiempo que el maíz requiere para pasar de una etapa de desarrollo a otra depende de la cantidad de calor acumulado (Gilmore & Rogers, 1958).

Existen varios métodos conocidos para calcular el calor acumulado. El más común es el de Grados-día de crecimiento (GDD, por sus siglas en inglés), también conocido como Unidades-grado de crecimiento (GDU, por sus siglas en inglés) o Unidades térmicas (HU, por sus siglas en inglés). Este método se basa en el uso de temperaturas Fahrenheit mínimas y máximas para el crecimiento y el desarrollo. Para el maíz, estas temperaturas son:

Mínima = 50 °F (10 °C)

Máxima = 86 °F (30 °C)

Habrà poco o ningún crecimiento por debajo de la temperatura mínima de 50 °F (10 °C) o por encima de la temperatura máxima de 86 °F (30 °C). El concepto de Grados-día de crecimiento utiliza el siguiente cálculo:

$$\text{GDD} = (T_{\text{mín.}} + T_{\text{máx.}}) / 2 - 50 \text{ (°F)}$$

$T_{\text{mín.}}$ = la temperatura diaria mínima, o 50 °F (10 °C) si la temperatura es menor a 50 °F (10 °C)

$T_{\text{máx.}}$ = la temperatura diaria máxima, u 86 °F (30 °C) si la temperatura es mayor a 86 °F (30 °C).

La cantidad mínima de GDD que se acumulan en un día sería de 0 GDD si la temperatura permaneciera en 50 °F (10 °C), o menos, durante todo el día; la cantidad máxima sería de 36 GDD si la temperatura permaneciera en 86 °F (30 °C), o más, durante todo el día. Al sumar los Grados-día de crecimiento acumulados durante un período específico, estos pueden usarse para prever el desarrollo del cultivo.

Sin embargo, en este método se presenta una dificultad en el cálculo de una temperatura diaria “promedio” en función de las temperaturas mínimas y máximas del día. No se toma en consideración el tiempo que la planta de maíz está expuesta a cualquier temperatura específica durante las partes calurosas o frías del día. Con el tiempo, tienden a equilibrarse aleatoriamente y pueden no afectar los cálculos de la etapa de crecimiento resultantes.

Aproximadamente, se necesitan 90-120 GDD para que una plántula de maíz emerja después de la siembra, pero la cantidad exacta requerida puede verse afectada por la profundidad de la siembra, la radiación solar, la humedad, la labranza u otros factores. Aunque la temperatura del aire se controla e informa, la velocidad de la germinación, la emergencia de las plántulas, y el posterior crecimiento mientras el punto de crecimiento está por debajo de la superficie del suelo están regidos por la temperatura del suelo (GDD del suelo) en la zona de la semilla. Los GDD del suelo cumplen un papel dominante a medida que la semilla de maíz germina, y tiene un rol progresivamente decreciente a medida que la plántula crece desde las etapas V hasta alrededor de la V6. La temperatura del aire tiene una influencia dominante en la tasa de crecimiento del maíz después de que el punto de crecimiento se eleva por encima de la superficie del suelo.

DETERMINACIÓN DE LAS ETAPAS DE DESARROLLO DEL MAÍZ

Al determinar las etapas de desarrollo del maíz, es importante saber que se usa más de un sistema para describir el desarrollo.

El sistema del cuello de la hoja descrito en esta publicación, y desarrollado en la Universidad del Estado de Iowa, divide el desarrollo del maíz en etapas vegetativas (V) y reproductivas (R). El uso de este sistema marca etapas fisiológicas definidas en el desarrollo de la planta. Esto facilita la diferenciación entre las etapas, en vez de usar otros sistemas indicadores, como la altura de la planta o las hojas expuestas, que incluyen los sistemas de altura de la planta y numeración de puntas de hojas (usados por las etiquetas de los herbicidas). Los sistemas de altura de la planta o numeración de hojas expuestas no son tan precisos como el sistema del cuello de la hoja. Las plantas responderán a diferentes ambientes/situaciones estresantes y pueden ser más antiguas de lo que parecen si solo se mira la altura de la planta. El sistema de numeración de hojas no requiere el conteo de formación de cuellos; por lo tanto, se presta a distintas interpretaciones y puede llevar a etapas menos consistentes.

En algunas partes del mundo con clima cálido constante (regiones tropicales y subtropicales), muchos granjeros los denominan “días de madurez”. Esta es una medición de tiempo desde la siembra hasta el momento “listo para la cosecha”, y es una herramienta útil para usar en estas partes del mundo ya que las temperaturas altas y bajas diarias son muy consistentes.

En Canadá, se utiliza un sistema de Unidades térmicas del cultivo (CHU, por sus siglas en inglés), que reconoce el tiempo y la temperatura. Las Unidades térmicas del cultivo se acumulan aunque todas las temperaturas están por debajo de la mínima.

Tabla 1. Etapas vegetativas y reproductivas.

Etapas vegetativas		Etapas reproductivas	
VE	Emergencia	R1	Aparición de los estigmas
V1	Primera hoja	R2	Blíster
V2	Segunda hoja	R3	Grano lechoso
V3	Tercera hoja	R4	Grano pastoso
V(n)	Enésima hoja	R5	Grano dentado
VT	Aparición de las panojas	R6	Grano maduro

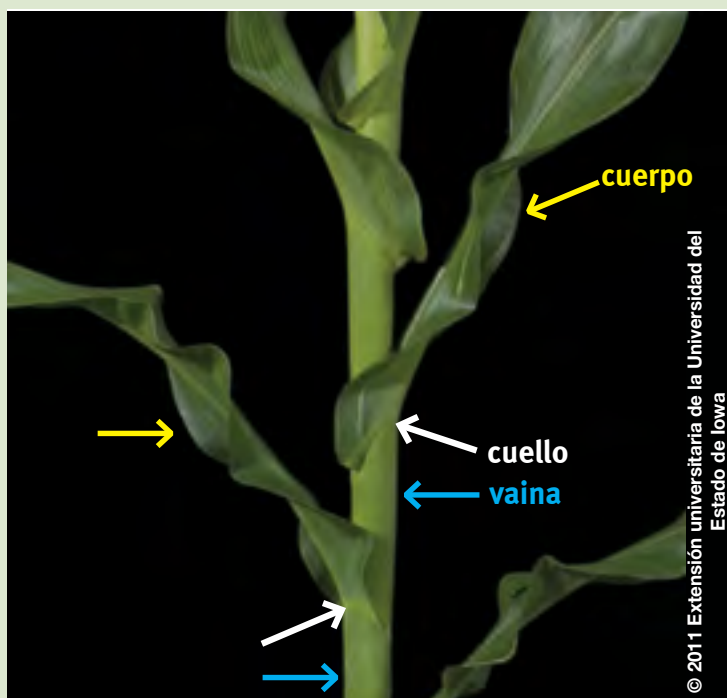


Figura 11. Planta de maíz que muestra hojas completamente emergidas con cuellos de hoja visibles.

ETAPAS VEGETATIVAS

Las etapas vegetativas (V) se caracterizan por la presencia del cuello de una hoja en hojas emergidas. La hoja de maíz tiene tres partes principales: el cuerpo, la vaina y el cuello. El cuerpo es la parte plana de la hoja que intercepta la luz solar; la vaina es la parte que se envuelve alrededor del tallo; y el cuello es la línea de demarcación entre el cuerpo y la vaina, normalmente con una curva definida (Figura 11). A medida que la planta de maíz crece, cada hoja sucesiva sale a la luz debido a la elongación del tallo y a la expansión de la hoja en secuencia desde la semilla hasta la panoja. La punta de la hoja es la primera parte visible; luego le sigue el cuerpo de la hoja, y finalmente el cuello y la vaina.

Cuando un cuello es visible, la hoja se considera completamente emergida y se cuenta en el esquema de etapas. Las etapas vegetativas (Tabla 1) del desarrollo comienzan con la emergencia (VE) y continúan de forma numérica con cada hoja sucesiva hasta que emerge la panoja (VT).

MADUREZ RELATIVA

Las plantas de maíz desarrollan hojas en función de su madurez relativa y del ambiente de crecimiento. Los híbridos adaptados a nivel local en el “cinturón de maíz” de los Estados Unidos (Iowa, Illinois, Indiana y Ohio) normalmente desarrollan entre 20 y 21 hojas. Los híbridos de maduración temprana pueden tener tan solo entre 11 y 12 hojas en el momento de madurez total, y los más recientes híbridos de maduración en ambientes tropicales pueden desarrollar 30 hojas o más. Entre la VE y la V14, cada nueva hoja con cuello aparecerá después de la acumulación de aproximadamente 66 a 84 GDD, según el híbrido (Figura 12).

Entre la V15 y la VT, el desarrollo de la hoja se produce más rápido con cada nueva hoja con cuello que aparece después de la acumulación de aproximadamente 48 a 56 GDD, según el híbrido.

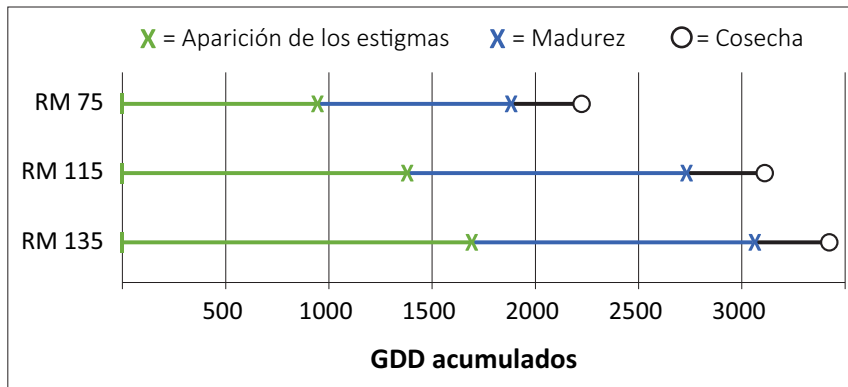
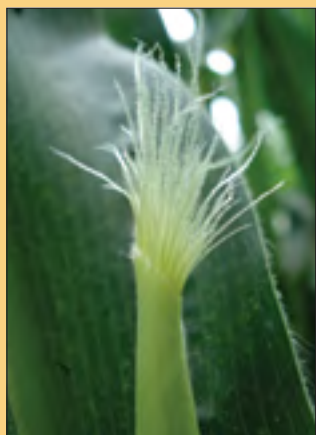


Figura 12. Comparación de híbridos de madurez relativa (RM, por sus siglas en inglés) 75, 115 y 135 que muestran GDD acumulados en las etapas de aparición de los estigmas y madurez.



ETAPAS REPRODUCTIVAS

Las etapas reproductivas se caracterizan por la emergencia de granos en desarrollo en la mazorca, excepto por la primera etapa reproductiva (R1), que se identifica únicamente por la emergencia de estigmas de las chalas (Figura 13). Hay seis etapas reproductivas (Tabla 1).

El híbrido promedio del “cinturón de maíz” de los Estados Unidos desarrollará estigmas (R1) aproximadamente de 60 a 65 días calendario (1400 GDD) después de la VE y alcanzará la madurez (R6) aproximadamente de 125 a 130 días calendario (2800 GDD) después de la VE. Los híbridos de maíz varían en el tiempo requerido para alcanzar la madurez fisiológica cuando se calculan mediante el uso de los días calendario o GDD.

Figura 13. Los estigmas del maíz emergen de la chala, y marcan así la primera etapa reproductiva (R1).

SIETE COMPONENTES CLAVE DE UNA PLÁNTULA DE MAÍZ

Tabla 2. Partes de la plántula de maíz.

Cubierta de la semilla (pericarpio)	Comprende del 5 al 6 por ciento del peso total de la semilla
Endospermo (almidón)	Comprende el 83 por ciento del peso total de la semilla y está compuesto de una capa externa de almidón duro que rodea un núcleo interno más suave de almidón
Embrión (germen)	Comprende el 11 por ciento del peso total de la semilla y consta de una plúmula (planta embrionaria) y el escutelo (cotiledón u hoja de la semilla)
Coleóptilo	Vaina protectora que rodea el brote emergente
Mesocotilo	Primer nodo interno o parte de la raíz entre el cotiledón y el primer nodo
Radícula	Raíz de la semilla o raíz principal
Coleoriza	Vaina protectora que rodea la radícula



Figura 14. Plántula de maíz germinada.

GERMINACIÓN Y EMERGENCIA (VE)

Después de su siembra, una semilla de maíz absorberá aproximadamente del 30 al 35 por ciento de su peso en agua. Se ha demostrado que las temperaturas del suelo tienen poca incidencia en este proceso.

Para que la radícula comience la elongación, las temperaturas del suelo deben ser propicias para el proceso de germinación; una temperatura del suelo mínima aceptada habitualmente es de 50 °F (10 °C). Poco después de que la radícula emerge, de tres a cuatro raíces adicionales emergen de la semilla. Estas raíces y la radícula forman el sistema de raíces seminales que actúa en la absorción de agua y algunos nutrientes para la plántula. La mayoría de los nutrientes para la plántula son provistos por las proteínas y los almidones hidrolizados del endospermo. El desarrollo radicular de coronas y principal (permanente) se inicia en la VE.

La planta de maíz demuestra la emergencia “hipógea”, en la que el cotiledón permanece debajo de la superficie. El mesocotilo, o primer nodo interno, se alarga y empuja la punta del coleóptilo hacia la superficie del suelo. Cuando el coleóptilo rompe la superficie del suelo, se ha producido la emergencia (VE). La luz solar afecta la elongación del coleóptilo y el mesocotilo, lo que fija la posición de la raíz principal y de la corona a aproximadamente 0,75 pulgadas (2 cm) por debajo de la superficie del suelo. Esta es una medición bastante constante, a menos que la profundidad de siembra sea excepcionalmente poco profunda (menos de 1,5 pulgadas o 3,8 cm). El meristemo apical (punto de crecimiento) y las iniciaciones de las hojas continúan elongándose hacia arriba desde esta posición (Figura 16).

Luego de la emergencia del coleóptilo, el crecimiento del sistema de raíces seminales disminuye y luego se detiene aproximadamente en la V3. A medida que el sistema de raíces principales crece, el sistema de raíces seminales permanece activo, pero progresivamente suministra un porcentaje más bajo del total de agua y nutrientes del suelo para el crecimiento de la planta. El coleóptilo emergido, con la plúmula incluida (planta embrionaria) luego se alarga (Figura 15).

Las hojas embrionarias crecen a través del coleóptilo, y la primera hoja verdadera (con punta redondeada) emerge y se cuenta como la hoja de la V1 durante las etapas tempranas (Figura 16). Las hojas posteriores tienen extremos puntiagudos. Algunas escalas no cuentan la hoja redondeada y, en cambio, a esta etapa la denominan VC, entre la VE y la V1.

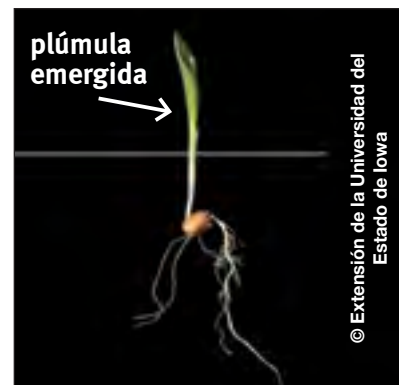


Figura 15. Plántula de maíz emergida (VE).



Figura 16. Tres variaciones diferentes en la profundidad de siembra que muestran la ubicación del coleóptilo, la corona, la longitud del mesocotilo y la raíz principal. Note la falta de desarrollo del mesocotilo, la corona y la raíz principal en la plántula de maíz de siembra poco profunda (menos de 1,0 pulgada o 2,5 cm) a la derecha.

ETAPAS VEGETATIVAS TEMPRANAS (DE V1 A V5)

Durante este período, hay una mínima elongación del tallo (nodo interno), que, de alguna manera, depende de la temperatura del suelo. Antes de la V5, el punto de crecimiento está por debajo de la superficie del suelo, y se inician todos los brotes de la mazorca y las hojas (Figura 17).

Un brote se inicia en cada nodo (axila de cada hoja) desde la primera hoja (por debajo del suelo) hasta aproximadamente la hoja n.º 13 (por encima del suelo). Los brotes que se desarrollan en los nodos por encima del suelo pueden diferenciarse en el tejido reproductivo (mazorcas o elotes), y los brotes que se desarrollan por debajo del suelo pueden diferenciarse en el tejido vegetativo (vástagos o retoños).

Las raíces permanentes se desarrollan en cinco nodos por debajo de la superficie, una en la superficie del suelo, y potencialmente uno o más nodos por encima de la superficie del suelo. A las raíces que se encuentran por encima de la superficie del suelo generalmente se las denomina raíces “soporte” o “ancla”, y pueden sostener el tallo y tomar agua y nutrientes si penetran en el suelo (Figura 18).

Las raíces más altas no pueden alcanzar el suelo porque la planta deja de crecer cuando cambia del desarrollo vegetativo al reproductivo. El desarrollo de esta etapa depende de la genética y el ambiente.



Figura 17. Vista de la disección de una planta de la V3.

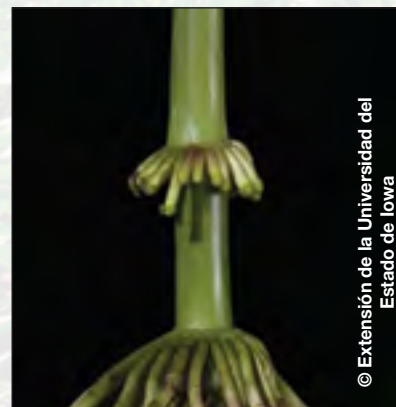


Figura 18. Desarrollo de raíces “soporte” o “ancla”.

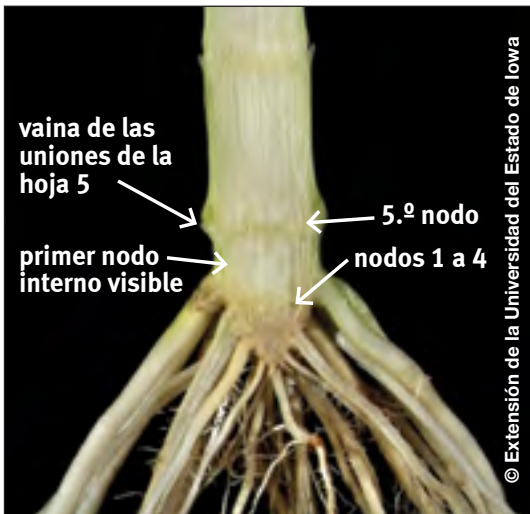


Figura 19. Desarrollo de la plántula de maíz desde la germinación hasta la V2.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 20. Vista de la disección de una planta de la V6 que muestra la relación del punto de crecimiento con la superficie del suelo y los brotes de la mazorca en desarrollo.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 21. Tallo de maíz inferior cortado a lo largo que muestra el desarrollo principal, la elongación del nodo interno y la ubicación de la raíz principal.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 23. Vista de la disección de una planta de la V12.

ETAPAS VEGETATIVAS INTERMEDIAS (DE V6 A V11)

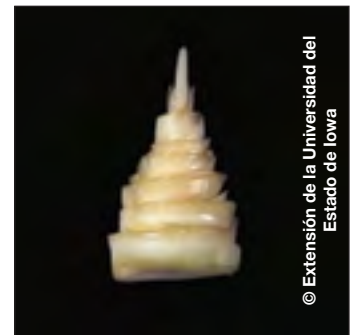
Durante estas etapas, las plantas de maíz comienzan un período de elongación del nodo interno muy rápida. El punto de crecimiento se desplaza por encima de la superficie del suelo alrededor de la V6, y entonces la planta es propensa a sufrir lesiones ambientales o mecánicas que pueden dañar el punto de crecimiento (Figura 20).

Como resultado de este rápido crecimiento, las tres o cuatro hojas más bajas, incluida la primera hoja verdadera, pueden desprenderse del tallo y desintegrarse. Cuando esto sucede, se usan otras técnicas para determinar la etapa vegetativa del desarrollo.

Una manera de identificar la etapa de desarrollo es cavar la planta de maíz y cortar el tallo a lo largo. Durante el crecimiento temprano, la elongación es mínima; los nodos de uno a cuatro están muy comprimidos y sin nodos internos visibles. Generalmente, el primer nodo interno visible estará entre los nodos cuatro y cinco, y tendrán aproximadamente 0,25 pulgadas (0,6 cm) de largo. Identifique la hoja adherida al quinto nodo y cuente las hojas con cuello sucesivas por encima de esa para determinar la etapa vegetativa (Figura 21).

Otra manera de determinar la etapa de la planta es identificar la sexta hoja. Encuentre el nodo en la superficie del suelo, y si el suelo no ha sido perturbado (no se cultivó), normalmente será el sexto nodo. Identifique la hoja adherida en el sexto nodo (hoja 6) y cuente las hojas con cuello sucesivas por encima de esa para determinar la etapa vegetativa.

En el “cinturón de maíz” de los Estados Unidos, la cantidad de hileras de granos alrededor del elote se establece aproximadamente en la V7, momento en el que los vástagos o brotes de la mazorca (Figura 20) son visibles, como también la panoja (Figura 22). Para los híbridos de la latitud norte, esto sucede antes, y para los híbridos tropicales, esto sucede más tarde. Siempre habrá un número par de hileras como resultado de la división celular. La mayoría de los híbridos de madurez media promedian 14, 16 o 18 hileras de granos, pero pueden ser menos o más. Los números de hileras inferiores están muy relacionados con los híbridos de madurez temprana. El número absoluto está fuertemente controlado por la genética de los híbridos y suele ser consistente en un híbrido en una ubicación determinada. Las situaciones estresantes metabólicas severas durante estas etapas, como el momento adecuado de las aplicaciones de algunos herbicidas, pueden reducir el número de hileras de granos producidas.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 22. Parte superior del tallo con la panoja visible, planta de la V7.

ETAPAS VEGETATIVAS TARDÍAS (DE V12 A VT)

La longitud de la mazorca (número de granos por hilera) se determina las últimas semanas antes de la aparición de las panojas. El estrés en este momento puede reducir el número de granos producidos en cada hilera; sin embargo, el número final de granos se determina durante y después de la polinización.

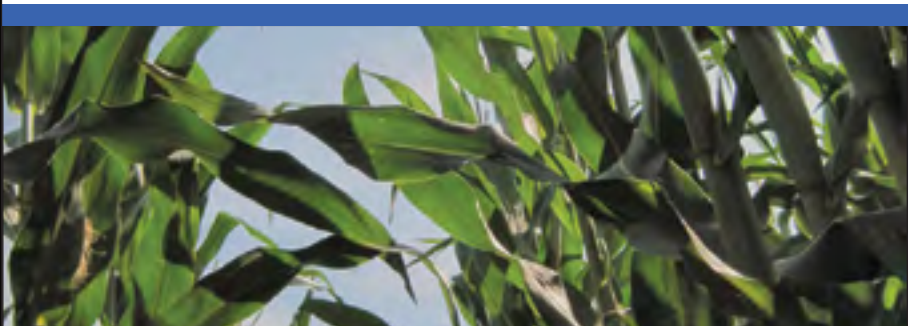




Figura 24. Vista de la disección de una planta de la V18. En esta etapa, la panoja puede ser visible fuera del verticilo.



Figura 25. Tres mazorcas más altas con estigmas. La mazorca principal está a la derecha.

ETAPA DE TRANSICIÓN (DE VT A R1)

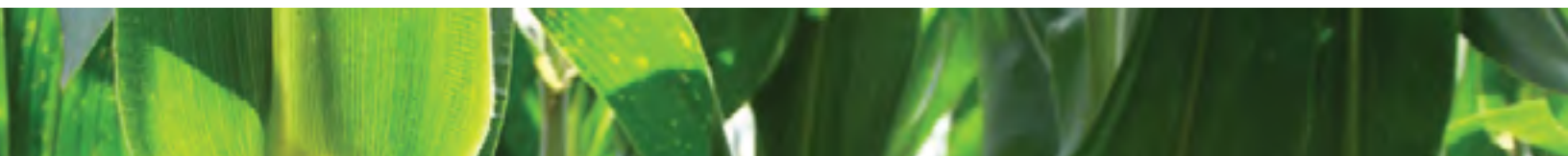
La transición del desarrollo vegetativo al desarrollo reproductivo (de VT a R1) es un período crucial para la determinación del rendimiento de los granos. En este momento, el brote de la mazorca superior se convierte en dominante (Figura 24).

La VT ocurre cuando la última rama de panoja ha emergido y se extiende hacia afuera (Figura 26). La VT se superpone con la R1 cuando los estigmas visibles aparecen antes de que la panoja emerja completamente.

El desarrollo vegetativo ahora está completo: la planta casi alcanza la máxima altura; las células del tallo continúan lignificándose, lo que mejora la fuerza del tallo; y la planta pasa al desarrollo reproductivo (R1).



Figura 26. Crecimiento de la panoja desde la V7 hasta la VT.



ETAPA DE APARICIÓN DE LOS ESTIGMAS (R1)

La R1 ocurre cuando los estigmas son visibles fuera de las chalas. Una vez que un grano de polen cae en un estigma (polinización), se forma un tubo polínico, y lleva alrededor de 24 horas hacer crecer el estigma hacia abajo hasta el óvulo. Una vez que alcanza el óvulo, se produce la fertilización y el óvulo se convierte en un grano. En esta etapa, los granos están casi completamente envueltos en glumas (sépalos), y son blancos con un contenido claro y acuoso.

Este período es importante para el desarrollo de los granos y, finalmente, para el rendimiento. En este momento, y durante las siguientes dos semanas, el estrés puede reducir significativamente el número de granos por mazorca.



Figura 27. Mazorca principal en la R1, con y sin chalias y estigmas.



Figura 28. Tres mazorcas más altas de una planta de R1. Note los granos puntiagudos. Este punto es donde se adhirió el estigma.



Figura 29. Vista de la disección de una planta de la R1. Note la emergencia de los estigmas antes de que las ramas de panoja se extiendan por completo.



Figura 30. Mazorca principal en la R2, con y sin chalias y estigmas.

ETAPA DE “BLÍSTER” (R2)

La R2 ocurre de 10 a 14 días después de la aparición de los estigmas y se la denomina la etapa de “blíster”. Los granos en desarrollo tienen alrededor del 85 por ciento de humedad, se asemejan a un blíster, y el endospermo y el fluido interno son claros. A medida que los granos se expanden, las glumas se vuelven menos visibles (Figura 31).

La interrupción del crecimiento de los granos relacionada con el estrés puede ocurrir durante esta fase. Primero, se suele interrumpir el crecimiento de los granos fertilizados en último lugar (cerca de la punta). El riesgo de interrupción del crecimiento de los granos es mayor en los primeros 10 a 14 días después de la polinización o hasta que los granos alcanzan la R3.

En esta etapa, la mazorca alcanza la máxima longitud. Los estigmas de granos fertilizados se secan y se vuelven de color marrón. Los estigmas no fertilizados pueden ser visibles entre los estigmas marrones (Figura 32).



Figura 31. Corte transversal de una mazorca de una planta de R2 que muestra granos y glumas.



Figura 32. Dos mazorcas más altas de una planta de R2. Note el desarrollo de los granos en la base de la planta con los estigmas desprendidos, mientras los estigmas permanecen adheridos a los óvulos en la punta esperando para ser polinizados.

ETAPA DE GRANO LECHOSO (R3)

La R3 ocurre de 18 a 22 días después de la aparición de los estigmas cuando los granos comienzan a mostrar el color final, que es amarillo o blanco en la mayoría de los híbridos dentados, o con variaciones de blanco o naranja amarillento en los híbridos indios.

Los granos tienen alrededor del 80 por ciento de humedad, el líquido interior es blanco lechoso por el almidón (endospermo) acumulado, y llenan totalmente el espacio entre las hileras de granos. El embrión y el endospermo se pueden diferenciar visualmente en la disección (Figura 33). La interrupción del crecimiento de los granos relacionada con el estrés aún es posible en este momento.

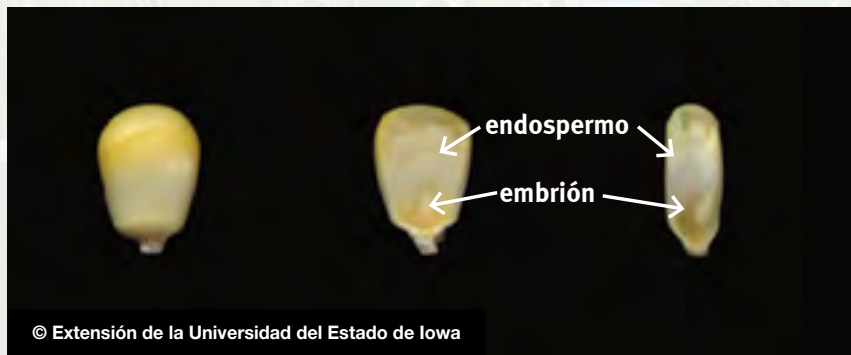


Figura 33. Granos de una planta de la R3.



Figura 34. Mazorca principal de una planta de la R3, con y sin chalias y estigmas.

ETAPA DE GRANO PASTOSO (R4)

La R4 ocurre de 24 a 28 días después de la aparición de los estigmas. Los granos tienen alrededor del 70 por ciento de humedad, y el líquido interior se espesa y forma una consistencia pastosa, como de masa. Los granos obtienen su color final y alrededor de la mitad de su peso seco maduro.

El color del elote (blanco, rosa, rojo claro o rojo oscuro) comienza a desarrollarse y es específico del híbrido. Las chalias comienzan a volverse marrones en los bordes exteriores (Figura 36).

El estrés durante esta etapa generalmente no hace que se interrumpa el crecimiento de los granos, pero puede reducir la tasa de acumulación de almidón y el peso del grano promedio.



Figura 35. Granos de una planta de la R4.



Figura 36. Mazorca principal de una planta de la R4, con y sin chalias y estigmas.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 37. Mazorca principal de una planta de la R5, con y sin chalas y estigmas. Note que los granos están dentados.

ETAPA DE GRANO DENTADO (R5)

La R5 ocurre de 35 a 42 días después de la aparición de los estigmas y representa casi la mitad del tiempo de desarrollo reproductivo. Los granos están compuestos de una capa externa de almidón duro que rodea un núcleo suave de almidón. Cuando el núcleo más suave de almidón comienza a perder humedad y se reduce, se forma una hendidura en la parte superior del grano (Figura 38).

La cantidad de hendiduras que se producen depende de la genética y de las condiciones de crecimiento. Los híbridos indios generalmente producen muy poca o ninguna hendidura porque los granos contienen almidón duro y no se contraen.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 38. Granos de una planta de la R5.

LÍNEA LECHOSA

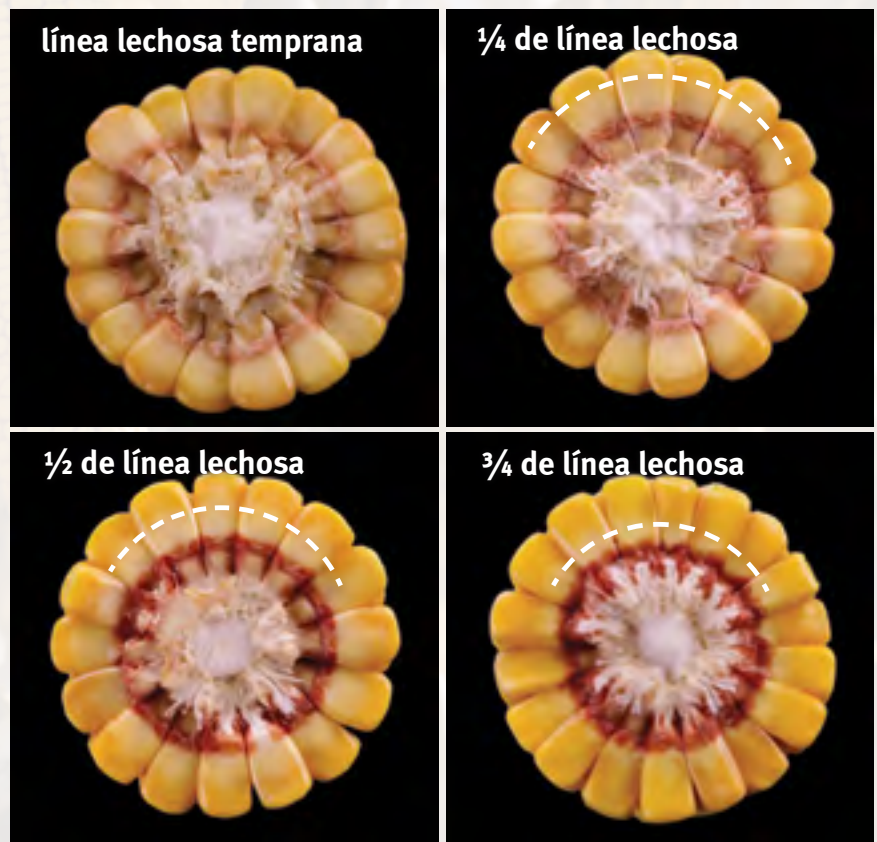
Se forma una línea “lechosa”, que crea una separación entre el almidón duro y el almidón suave. Su generación tiene lugar en la corona del grano y avanza hacia la base, o punta del grano, lo que normalmente toma alrededor de tres a cuatro semanas. El tiempo total de este movimiento está relacionado con la temperatura, la existencia de humedad y la genética de los híbridos. Por lo general, a la línea lechosa se la denomina $\frac{1}{4}$ de línea lechosa, $\frac{1}{2}$ de línea lechosa o $\frac{3}{4}$ de línea lechosa a medida que se mueve hacia el elote (Figura 39).

En la etapa de grano dentado temprana, los granos tienen alrededor del 55 por ciento de humedad, y tienen acumulado alrededor del 45 por ciento del total de su materia seca, y alrededor del 90 por ciento del total de materia seca por R5.5 ($\frac{1}{2}$ de línea lechosa). (Mahanna et al., 2014)

La chala comenzará a envejecer y perder color (Figura 37). El estrés durante esta etapa dará como resultado una menor acumulación de almidón y peso del grano.

Figura 39. Mazorcas de maíz que muestran las etapas de línea lechosa. La línea lechosa comienza en la corona del grano y avanza hacia la punta del grano.

Cortesía de Steve Butzen, de DuPont Pioneer.



MADUREZ FISIOLÓGICA (R6)

La R6 ocurre de 60 a 65 días después de la aparición de los estigmas. La humedad de los granos es de aproximadamente el 35 por ciento, los granos se consideran maduros fisiológicamente y han alcanzado su peso seco máximo.

La línea lechosa, o capa de almidón duro, ha avanzado hasta la punta del grano. Las células en la punta del grano pierden su integridad y caen, y hacen que se forme una capa de abscisión de marrón a negra, generalmente denominada “capa negra” (Figura 41). Una vez que se forma la capa negra, el almidón y la humedad no pueden ingresar o salir más del grano, con la excepción de la pérdida de humedad a través de la evaporación.

La formación de la capa negra avanza desde la punta de la mazorca hacia la base. Si la planta de maíz muere prematuramente (antes de la madurez fisiológica), la capa negra aún se forma, pero puede llevar más tiempo, y el rendimiento puede reducirse.

El estrés en esta etapa no tiene impacto en el rendimiento.



Figura 41. Progresión de la formación de la capa de abscisión negra. Cortesía de Steve Butzen, de DuPont Pioneer.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 42. Granos de una planta de la R6 que muestran el embrión (germen), el endospermo (almidón) y la capa negra.



Figura 43. Mazorcas principales de una planta de la R1 a una planta de la R6. Tanto los lados con embrión como sin embrión se muestran una vez que se pueden distinguir.



© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

Figura 40. Mazorca principal de una planta de la R6, con y sin chalas y estigmas.

MEDICIONES ESTÁNDAR

Una mazorca de maíz típica tiene de 500 a 800 granos, según las prácticas de producción y el ambiente favorable.

El peso del grano promedio con un 15,5 por ciento de humedad es de aproximadamente 0,012 onzas (350 mg), con un rango de 0,007 a 0,015 onzas (de 200 a 430 mg).

Una tonelada estándar pesa 56 libras (25,5 kg) y contiene aproximadamente 90 000 granos, con un rango de 59 000 a 127 000 granos por tonelada (de 2,3 a 5,0 millones de granos por tonelada métrica).

© Extensión de la Universidad del Estado de Iowa



SECADO DE GRANOS

La tasa de pérdida de humedad del grano de maíz depende mucho de la temperatura del aire (Tabla 3), el movimiento del aire, la humedad relativa y el contenido de humedad del grano. El secado está estrechamente relacionado con características de los híbridos, como la orientación de la mazorca, la densidad de la planta, la estrechez, la longitud de las chalas y la dureza de los granos. Como regla general, se requieren 30 GDD para quitar un punto de humedad del grano al principio del proceso de secado (del 30 al 25 por ciento), y 45 GDD para quitar un punto de humedad más tarde en el proceso de secado (del 25 al 20 por ciento). Las tasas de secado de granos variarán entre los híbridos y los ambientes. Por ejemplo, el maíz se seca más un día soleado con una temperatura de 50 °F (10 °C) que un día nublado o lluvioso con una temperatura de 50 °F (10 °C). Ambos días tienen la misma cantidad de unidades térmicas, pero la energía adicional proporcionada por la energía radiante en un día soleado mejora considerablemente el proceso de secado.

Tabla 3. Secado potencial por fecha en Ames, Iowa, Estados Unidos.

Fecha	Temperatura máxima	Temperatura mínima	GDD/ Día
20 de septiembre	75 °F (24 °C)	51 °F (11 °C)	13
10 de octubre	65 °F (18 °C)	42 °F (6 °C)	7
1.º de noviembre	55 °F (13 °C)	33 °F (1 °C)	2

Fuente: Extensión de la Universidad del Estado de Iowa

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Gilmore, E. C., J. S. Rogers. 1958. Heat Units as a Method of Measuring Maturity in Corn. *Agronomy Journal*, Vol. 50 No. 10, p. 611-615. College Station, TX.
- Galinat, W. C. 1988. The Origin of Corn. In *Corn and Corn Improvement – Agronomy Monograph no. 18*, 3rd edition. pp. 1-31. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Ritchie, S. W., J. J. Hanway, and G. O Benson. 1996. How a Corn Plant Develops. Iowa State University Cooperative Extension Special Report No. 48. Ames, IA.
- Troyer, A. F. 2009. Development of Hybrid Corn and the Seed Corn Industry. In *Maize Handbook – Volume II: Genetics and Genomics*. pp. 87-95. J. L. Bennetzen and S. Hake (eds.).
- Mahanna, B., B. Seglar, F. Owens, S. Dennis, and R. Newell. 2014. *Silage Zone Manual*. DuPont Pioneer, Johnston, IA.

