

Fenología asociada a criterios de manejo de sorgos bioenergéticos

Agustín Sánchez Ducca*, Eduardo R. Romero**, Sergio D. Casen*, Pablo Fernández Gonzalez*, M. Mercedes Medina* y J. Tonatto*

Introducción

En la actualidad, existe consenso acerca de que los combustibles derivados del petróleo deben ser reemplazados por fuentes alternativas renovables, menos contaminantes y económicamente viables. En este sentido, el aprovechamiento del sorgo azucarado tiene un alto potencial, pues puede obtenerse bioetanol a partir de sus azúcares solubles y co-generarse energía eléctrica a partir de su fibra.

Además, el sorgo azucarado puede cumplir un papel importante complementando el aprovechamiento agro-energético de la caña de azúcar, cadena agroindustrial ya establecida en el Noroeste Argentino (NOA) (Romero *et al.*, 2010).

Para conocer el comportamiento de este cultivo y precisar su manejo agronómico, es importante disponer de una caracterización fenológica que asegure la adecuada identificación de las fases, de crecimiento y desarrollo, considerando que en este caso, los órganos de interés económico son los tallos y no los granos. Además, conocer los factores ambientales y de manejo que modifican la duración de estas fases, permitirá comprender mejor su programa genético-fisiológico y facilitará, desde el punto de vista agronómico, la elección y oportunidad de las mejores alternativas de manejo (Romero, 2003).

En este artículo, se presenta una descripción detallada de las distintas fases fenológicas del sorgo azucarado bioenergético, asociándolas con el comportamiento de los azúcares fermentables en el jugo de los tallos y con la aptitud para cosecha. También se analizan las principales pautas de manejo en cada fase de cultivo.

Caracterización fenológica

Una de las escalas fenológicas más utilizadas para sorgo, especialmente el granífero, es la desarrollada por Vanderlip and Reeves (1972), la cual se muestra en la Tabla 1. Se trata de una escala sencilla que contempla 10 fases identificadas con números del 0 al 9, que define el número de días después de la emergencia para la ocurrencia de cada una de estas fases, sin diferenciar explícitamente los estadios vegetativos y los reproductivos.

Es importante destacar que el número de días de ocurrencia de cada etapa resulta orientativo, ya que pueden existir variaciones debido a las condiciones ambientales, fecha de siembra, localidad, material genético, etc.

En los sorgos azucarados, al constituir los tallos jugosos los órganos cosechables y de interés económico, es necesario disponer de una escala fenológica

Tabla 1. Fases fenológicas, intervalo aproximado de ocurrencia y característica de identificación de cada fase para sorgo granífero. Fuente: Vanderlip and Reeves (1972).

Estados	SG	Características de identificación
	DDE	
	0	Emergencia. Coleoptile visible.
1	10	Collar de la tercera hoja visible.
2	20	Collar de la quinta hoja visible.
3	30	Diferenciación del punto de crecimiento (8-10 hojas visibles)
4	40	Hoja bandera
5	50	Planta embuchada
6	60	Floración
7	70	Grano lechoso
8	85	Grano pastoso
9	95	Grano fisiológicamente maduro

SG: sorgo granífero; DDE: días después de emergencia.

*Ing. Agr., **Ing. Agr. Dr., Sección Caña de Azúcar, EEAOC.

específica que los caracterice para tal fin. En este contexto, el grupo de Cultivos Energéticos de la Sección Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) trabajó en la adaptación de la escala de sorgo tradicional al sorgo azucarado (Sánchez Ducca *et al.*, 2010 y 2011).

En la Figura 1 se presenta el esquema de la escala desarrollada y, a continuación, se describen las fenofases consideradas.

Descripción de las fases fenológicas del sorgo azucarado

Estadio vegetativo

Fase 0: emergencia (cuatro a ocho días después de siembra). En esta etapa, el coleoptile emerge. A pesar de que el sorgo se considera un cultivo rústico, el período de emergencia es crítico para su correcta implantación. En esta fase, las condiciones de humedad y temperatura del suelo resultan muy importantes. Los principales factores a tener en cuenta son:

- Profundidad de siembra: al ser pequeñas, las semillas deben sembrarse superficialmente, entre 2 cm y 4 cm de profundidad, buscando la zona con mayor contenido hídrico. Cuando la siembra es más profunda, la emergencia disminuye sensiblemente (Figura 2). También es importante tener en cuenta la calidad y vigor de la semilla usada, ya que su viabilidad decrece significativamente de un año a otro.

- Humedad edáfica: el cultivo de sorgo tolera la sequía y el exceso hídrico mejor que la mayoría de los cereales y otros cultivos estivales. Además, crece bien bajo una amplia gama de condiciones de suelo (Giorda *et al.*, 1997). Si bien el déficit hídrico puede ocasionar importantes fallas de emergencia e incluso muerte de plántulas, el sorgo posee mecanismos para soportar situaciones con déficit de agua. Asociado a la

ocurrencia de déficits hídricos, los mayores daños en la emergencia del cultivo son ocasionados por ataques de *Elasmopalpus lignosellus* (Figura 3). Este lepidóptero afecta plántulas recién establecidas y no existen todavía alternativas efectivas de control de esta plaga.

- Temperatura: el sorgo es una especie C4 de origen tropical, por lo que requiere temperaturas altas para su normal crecimiento y desarrollo. Para la germinación, la temperatura de suelo a 5 cm debe ser mayor a 16°C; para el resto del ciclo, la temperatura ambiente debe rondar los 27°C (Giorda *et al.*, 1997).

- Manejo de malezas: resulta de gran importancia realizar previamente un barbecho químico, para iniciar el cultivo en un lote con buen control de malezas gramíneas, especialmente de especies perennes. El uso posterior de herbicidas preemergentes resulta el complemento más adecuado para lograr un control efectivo. Con una correcta selección y aplicación de



Figura 2. Semillas de sorgo sembradas a 7 cm de profundidad, 30% de emergencia. Ensayo realizado en condiciones controladas en Tucumán, R. Argentina, en el año 2012.

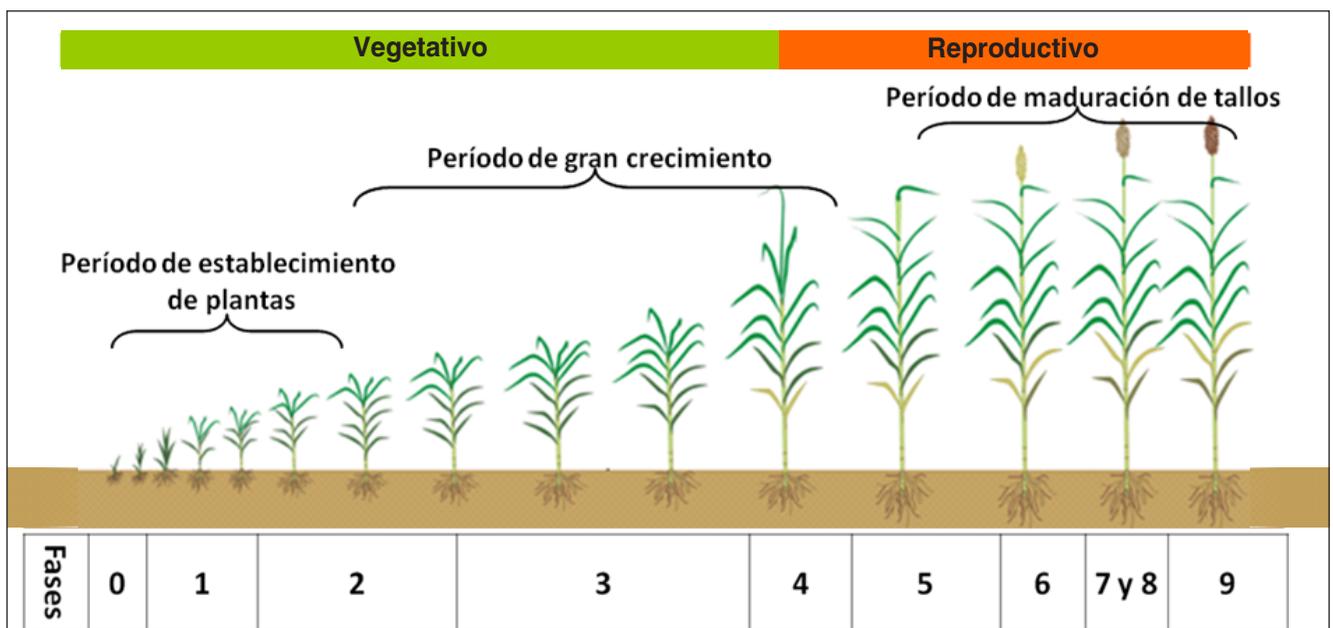


Figura 1. Esquema fenológico adaptado al sorgo azucarado.



Figura 3. Ataque de *Elasmopalpus lignosellus* en plantas de sorgo azucarado. Tucumán, R. Argentina, 2012.

estos antes de la emergencia de las malezas, se puede alcanzar el cierre del cultivo sin que sea necesario ningún otro tipo de control.

Fase 1: tres hojas (de 10 a 20 días después de emergencia, DDE). En esta fase, la planta establece tres hojas verdes completamente expandidas. El meristema de crecimiento se encuentra aún por debajo de la superficie del suelo.

En esta fase, como en la anterior, el sorgo presenta una baja tasa de crecimiento en altura, de 1 cm a 1,5 cm/día. Es una etapa crítica en cuanto a la competencia con malezas y el ataque de plagas, cuyos efectos pueden disminuir significativamente los rendimientos si no se realizan los controles en tiempo y forma.

- Plagas: hasta ahora, la plaga con mayor incidencia es el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y se requieren monitoreos frecuentes para detectar el

nivel de daño en el follaje. Una vez determinado este, es importante controlar la plaga químicamente, ya que la oruga, luego de atacar las hojas, se aloja en el cogollo de la planta y allí los controles resultan poco efectivos (Figura 4).

Fase 2: cinco hojas (25 a 35 DDE). En esta fase, el cultivo alcanza en promedio cinco hojas verdes completamente expandidas. Se produce el cierre del cultivo y el fin del macollaje, iniciándose así el Período de Gran Crecimiento.

Fase 3: 8-10 hojas (50 a 60 DDE). El cultivo presenta, en promedio, entre 8 y 10 hojas verdes completamente expandidas, con una gran expansión foliar y las máximas tasas de crecimiento en altura, que alcanzan valores de 5 cm a 10 cm/día. En el caso de la variedad Topper 76-6, esta tasa alcanza un valor máximo de 7,6 cm/día en esta fase (Figura 5).



Figura 4. Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Tucumán, R. Argentina, 2010.

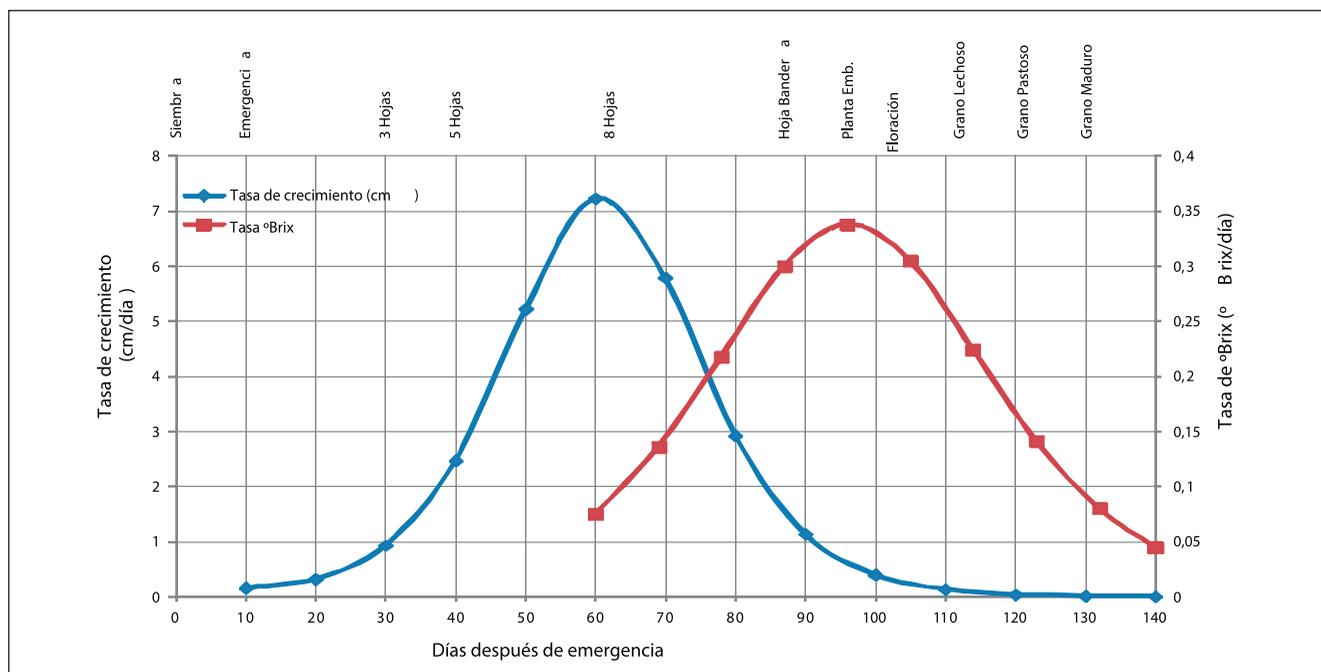


Figura 5. Evolución de las tasas de crecimiento en altura y de acumulación de sólidos solubles, en función de los días de siembra y las fases fenológicas típicas. Variedad Topper 76-6. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, 2010.

Esta fase es muy importante para la producción de sorgo azucarado, ya que en ella se define el tamaño y prácticamente el peso final de los tallos. Además, se produce la transición del meristema apical del estadio vegetativo al reproductivo y el inicio del almacenamiento de azúcares en el tallo. Si bien este cambio no puede ser observado a simple vista, es posible identificarlo mediante un corte longitudinal de la porción apical del tallo, donde se destaca una modificación de la forma del ápice terminal, el cual muestra una forma redondeada (Figura 6).



Figura 6. Corte longitudinal del extremo apical de un tallo de sorgo azucarado de la variedad Topper 76-6 en la fase 3. Tucumán, R. Argentina, 2010.

Fase 4: hoja bandera (60 a 70 DDE). Se observa que la última hoja se encuentra totalmente expandida (Figura 7). El área foliar alcanza su tamaño máximo, no hay generación de nuevas hojas y por lo tanto la intercepción de la luz es máxima. La tasa de absorción de agua y nutrientes sigue siendo elevada y el ritmo de la tasa de acumulación de azúcares totales se incrementa progresivamente.



Figura 7. Fase 4: hoja bandera. Tucumán, R. Argentina, 2010.

Estadio reproductivo

Las fases fenológicas del estadio reproductivo en este tipo de materiales resultan buenos indicadores del estado de madurez del tallo.

Fase 5: planta embuchada (65 a 75 DDE). La panoja se encuentra envuelta por la vaina de la última hoja (Figuras 8 y 9). Comienza la elongación del pedúnculo de la panoja.

Asimismo, en esta fase se intensifica la maduración del tallo, ya que el contenido de sólidos solubles totales (SST) aumenta en forma exponencial y se observan tasas de incremento de SST (Brix %) elevadas y crecientes (Figuras 5 y 12).

Fase 6: floración (75 a 85 DDE). En esta etapa, la panoja logra su expresión plena y generalizada (Figura 10). Se produce, por otro lado, la mayor tasa de incremento del Brix y del contenido de azúcares fermentables totales.



Figura 8. Fase 5: planta embuchada. Tucumán, R. Argentina, 2010.



Figura 9. Corte longitudinal del extremo apical de un tallo de sorgo azucarado. Variedad Topper en fase 5. Tucumán, R. Argentina, 2010.



Figura 10. Fase 6: floración. Tucumán, R. Argentina, 2010.

Fase 7: grano lechoso (85 a 95 DDE). Los granos alcanzan el 50% del peso seco acumulado (Figura 11 a).

Fase 8: grano pastoso (110 a 120 DDE). Los granos alcanzan el 75% del peso seco acumulado (Figura 11 b).

Fase 9: grano maduro (120 a 130 DDE). Los granos alcanzan el 100% del peso seco acumulado. El grano tiene aproximadamente un 35% de humedad y la unión del grano con el pedicelo se torna oscura (Figura 11 c).

Es importante señalar que la producción de grano de los materiales azucarados es relativamente baja (0,8 t/ha a 1,5 t/ha) y no tiene interés agronómico primario.

En las tres últimas fenofases, se registran los niveles más altos de azúcares solubles totales de todo el ciclo, aunque la tasa de deposición decrece, como se puede observar en las Figuras 5 y 12. La variedad Topper 76-6 alcanza los valores mínimos de azúcares fermentables totales (AFT) en tallo, que justificarían su cosecha a partir de la fase grano pastoso.

Consideraciones finales

En base a lo expuesto en el presente artículo, se destaca que si bien las fases fenológicas del estadio reproductivo del sorgo no resultan importantes en sí mismas, son muy buenos indicadores para definir el estado de madurez del tallo, el momento de cosecha y el aprovechamiento industrial del sorgo azucarado.

A pesar de que el sorgo es considerado un cultivo rústico, en sus tres primeras fases resulta muy sensible a la ocurrencia de déficits hídricos, la excesiva profundidad de siembra, la competencia con malezas y los ataques de plagas y enfermedades. Por este motivo, es muy importante tomar todas las



Figura 11. a) Grano lechoso; b) grano pastoso; y c) grano maduro.

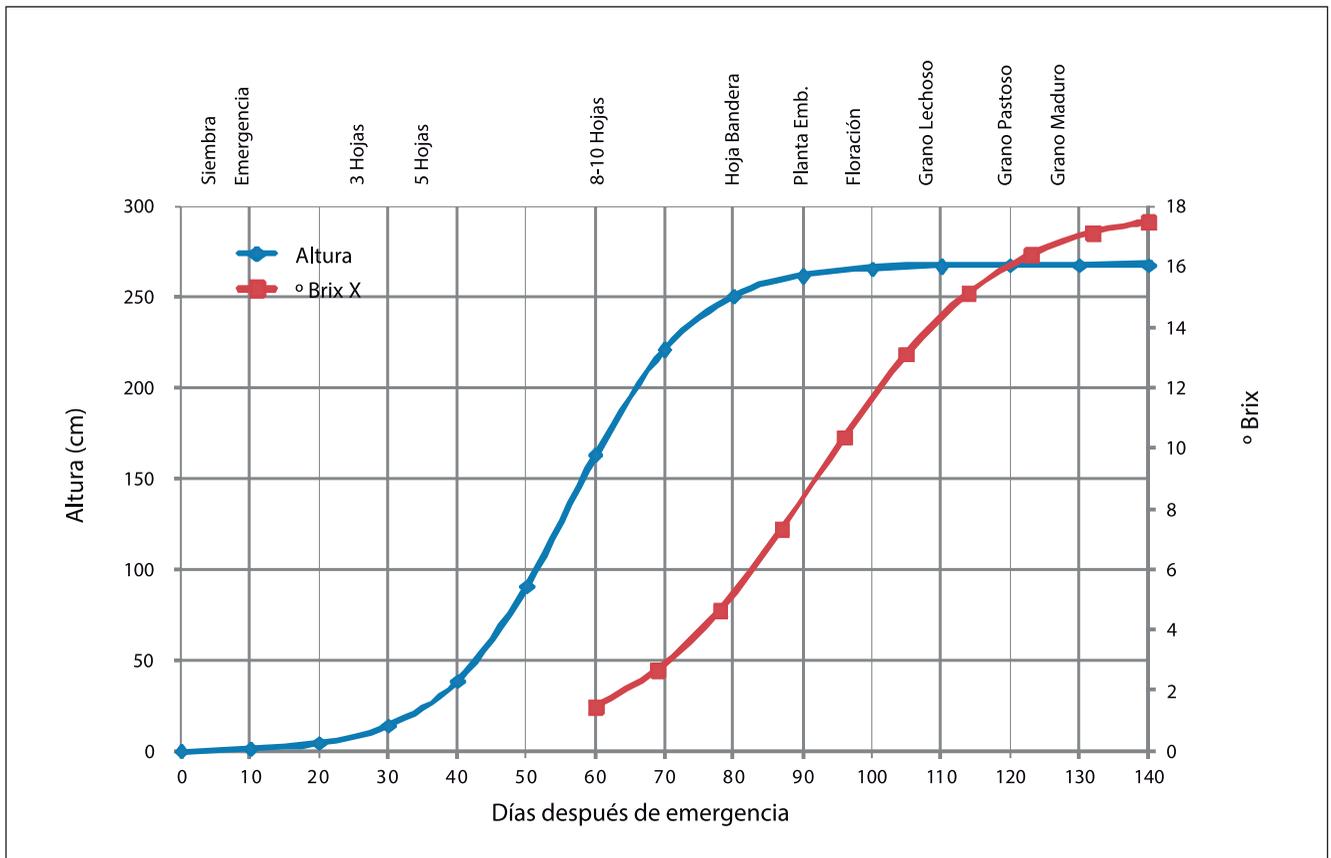


Figura 12. Evolución del crecimiento en altura y del contenido de sólidos solubles totales (Brix%), en función de los días de siembra y según las fases fenológicas típicas. Variedad Topper 76-6. Las Talitas, Tucumán (R. Argentina), 2010.

precauciones y medidas de control adecuadas, así como efectuar monitoreos periódicos del cultivo durante sus primeros 35 a 40 días.

Bibliografía citada

- Giorda, L. M.; O. Feresin y C. Domanski. 1997.** Condiciones ambientales. En: Giorda, L. M. (ed.), Cuadernillo de actualización técnica, EEA INTA Manfredi (7), Manfredi, R. Argentina, pp. 17-18.
- Romero, E. R. 2003.** Ecofisiología de la caña de azúcar relacionada con el control de malezas. En: Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar, 13, Tucumán, pp. 22-25.
- Romero, E. R.; S. Casen; J. Tonatto; P. Fernández González; A. Sánchez Ducca y G. Deboeck. 2010.** El sorgo azucarado: un cultivo energético promisorio. *Avance Agroind.* 31 (3): 26-30.

- Sánchez Ducca, A.; S. Casen; P. Fernández González; J. Tonatto y E. Romero. 2010.** Caracterización fenológica del sorgo azucarado destinado a la producción de bioetanol de 1ª generación. En: Libro de Resúmenes del Simposio Nacional de Sorgo, 1, Rosario, R. Argentina, pp. 439-441.
- Sánchez Ducca, A.; P. Fernández González; A. Marto y E. R. Romero. 2011.** Estudio de la fenología y capacidad productiva de variedades de sorgo azucarado para su uso como biocombustible. En: Jornadas de Jóvenes Investigadores Asociación De Universidades Grupo Montevideo (AUGM), 19, Paraguay, pp. 307.
- Vanderlip, R. L. and H. E. Reeves. 1972.** Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Agron. J.* 64: 13-16.

