

# CAPÍTULO 1 |

## LA CAÑA DE AZÚCAR Características y ecofisiología

### **Autores**

Eduardo R. Romero

Jorge Scandaliaris

Patricia A. Digonzelli

M. Fernanda Leggio Neme

Juan A. Giardina

Juan Fernández de Ullivarri

Sergio D. Casen

M. Javier Tonatto

Luis G. P. Alonso

# LA CAÑA DE AZÚCAR

## Características y ecofisiología



### INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar constituye el cultivo sacarífero más importante del mundo, responsable del 70% de la producción total de azúcar. Este cultivo se extiende a lo largo de los trópicos y subtropicales, entre los 36,5° latitud Norte (España) hasta los 31° latitud Sur (Uruguay, Australia). Su capacidad productiva varía, entre las zonas cañeras tropicales y subtropicales, de 40 a 150 t/ha de caña y de 3,5 a 15 t/ha de azúcar.

La producción de caña de azúcar en la Argentina se concentra en tres zonas: Tucumán, el Norte (Salta y Jujuy) y el Litoral. Actualmente funcionan 23 ingenios azucareros, de los cuales 15 están concentrados en Tucumán, tres en Jujuy, dos en Salta y tres en el Litoral (dos en Santa Fé y uno en Misiones).

Tucumán es la región más importante con una participación del 60-65% en la producción nacional de azúcar, el Norte aporta un 35% y el Litoral un 1%.

En el área cañera de Tucumán se cultivan alrededor de 217.000 ha, pero con una superficie potencial de 300.000 ha. La producción de azúcar de Tucumán ha venido creciendo hasta alcanzar un máximo de 1.524.000 t en el 2006.

Las innovaciones tecnológicas adoptadas por el sector, las mejoras en el manejo de los cañaverales, la incorporación de variedades, el uso de madurativos y de semilla saneada, entre otras, generaron incrementos importantes en la productividad, lo que se revela al comparar el rendimiento cultural promedio, en el período 1990-2008. En 1990 el rendimiento cultural promedio era de 26,80 toneladas de caña por ha con una producción de 2.445 kg de azúcar por ha. En el 2008 se cosecharon 219.130 ha y el promedio fué 64,52 toneladas de caña por ha.

### CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

En la Figura 1 se esquematizan los principales factores que interactúan en la definición de la capacidad productiva del cultivo en las condicio-

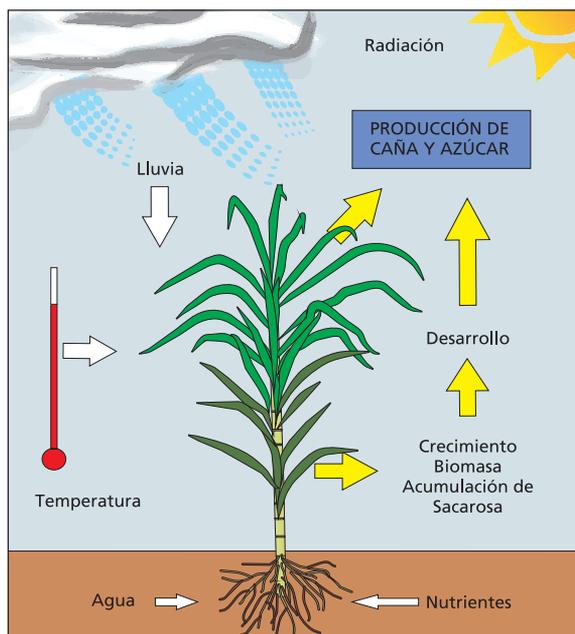


Figura 1: Factores que interactúan en la productividad de la caña de azúcar.

nes de Tucumán, con un ciclo anual de producción. El ambiente (suelo y clima) genera el marco en el que se desarrolla y crece el cultivo, definiendo las limitaciones y disponibilidades de recursos agroecológicos dentro de los cuales se debe implantar, cultivar y producir la caña de azúcar.

Resulta por lo tanto de fundamental importancia un conocimiento detallado de sus características generales y particulares para evaluar las posibilidades productivas, como también para efectuar una correcta elección de las prácticas de manejo a implementar.

La tecnología (manejo y genotipo) por su parte, buscará minimizar las limitaciones agroecológicas que afectan la productividad del cultivo, favorecer el óptimo aprovechamiento de los recursos ambientales disponibles, maximizar la eficiencia técnico-económica del sistema productivo y conservar el ambiente. Una elección acertada de estrategias de manejo estrechamente asociadas y adaptadas a las características del agroecosistema,

será la base para obtener una producción agrícola sostenida.

Los rendimientos a obtener dependerán de la participación interactiva de los distintos componentes del rendimiento, cuya magnitud se define a través de los eventos fenofisiológicos que acontecen durante el ciclo de cultivo y de sus interacciones con los recursos ambientales, el manejo suministrado y el potencial productivo del genotipo. Pero la producción final de azúcar también depende de la influencia de los factores ambientales durante la zafra y de la eficiencia con que se realice la cosecha y el procesamiento.

### REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

Este cultivo está adaptado a un amplio rango de climas tropicales y subtropicales. No tolera temperaturas de congelamiento (bajo 0°C) y el crecimiento prácticamente cesa por debajo de los 10-12°C.

**Suelos:** crece satisfactoriamente en una gran variedad de tipos de suelos, pero los más adecuados son los de textura franca o franco-arcillosa, bien drenados y los suelos aluviales de textura mediana. Toleran un amplio rango de acidez y alcalinidad del suelo y pueden obtenerse altas producciones en suelos con pH entre 5 y 8. Con pH menores a 5 y mayores a 8, la acidez del suelo y los problemas de alcalinidad y salinidad, se convierten en factores limitantes de la producción. Requiere además, suelos provistos de suficientes cantidades de nutrimentos o de buena fertilidad ya que es un cultivo que extrae grandes cantidades de nitrógeno, potasio y silicio.

Las condiciones ideales para el crecimiento de este cultivo serían las que cuenten con períodos primavera-estivales con temperaturas elevadas y sostenidas durante el lapso más prolongado posible y con lluvias que satisfagan su evapotranspiración.

**Régimen térmico:** es importante destacar que cada fase de crecimiento tiene requerimientos diferentes. La brotación se inicia o activa con temperaturas superiores a 10°C pero hasta los 16-18°C la velocidad es baja, generalizándose con valores mayores a 20°C. Las temperaturas óptimas de brotación y macollaje fluctúan entre los 28-32°C. Es de interés destacar que los valores citados presentan diferencias varietales, y también están en fun-

ción de la disponibilidad hídrica.

En cuanto al período de gran crecimiento, temperaturas inferiores a 16-17°C afectan el crecimiento vegetativo, manifestando su óptimo término entre 28-35°C. Esta sacarífera puede soportar temperaturas máximas entre 45-50°C, pero provocan retrasos en el crecimiento.

Indudablemente la duración del período con condiciones térmicas adecuadas influye significativamente en la capacidad productiva del cañaveral, si bien la selección de variedades adaptadas y un manejo adecuado a regiones agroecológicas definidas pueden reducir en cierta medida la desventaja de las zonas cañeras subtropicales.

**Radiación solar:** es otro factor importante, no solo por sus efectos indirectos (variaciones térmicas, evapotranspiración, etc.), sino fundamentalmente por su incidencia en la actividad fotosintética, la que determinará el nivel de crecimiento y la acumulación de materia seca. En general, intensidades crecientes de radiación lumínica se asocian con incrementos en la producción cultural y de azúcar por unidad de superficie, ya que este cultivo ha evidenciado ser de las especies más eficientes en responder a elevadas intensidades lumínicas.

**Disponibilidad hídrica:** es otro factor decisivo en el crecimiento de la caña de azúcar. Al ser un cultivo de gran capacidad de producción de material vegetal por unidad de superficie, involucra altos requerimientos de agua, ya que para construir un gramo de materia seca de tallo molible requiere 0,5 L de agua y con igual cantidad de agua se acumulan de 0,25-0,40 g de sacarosa. Si bien se cultiva caña a secano en zonas desde 700 a 2000 mm anuales, las mejores producciones se obtienen en los ambientes que satisfacen adecuadamente sus necesidades hídricas. Para Tucumán se estima una evapotranspiración máxima de 1250-1400 mm para un ciclo de 10-12 meses, valor orientativo coincidente con el citado por la bibliografía internacional de entre 1300-1600 mm para cañaverales de ciclo anual. El consumo varía en cada fase de crecimiento, presentando el máximo requerimiento durante el período de gran crecimiento (diciembre-marzo). Cuando la humedad edáfica en las capas superficiales del suelo es deficiente, la evapotranspiración actual es fuertemente limitada por el desarrollo radicular y por el des-

arrollo del canopeo. Si el cierre del cañaveral es completo, la evapotranspiración actual es similar a la máxima hasta que el cultivo consume el 60-70% del agua fácilmente extraíble del suelo. Por debajo de este nivel, el cultivo soporta deficiencias hídricas crecientes.

**Factores que inciden sobre la calidad de la materia prima:** es decir los que afectan la maduración y la cosecha. En términos generales una estación otoño-invernal de baja humedad atmosférica y edáfica, bajas precipitaciones, alta insolación, amplitud térmica y temperaturas frescas, pero libre de heladas, serían las condiciones óptimas para lograr un elevado contenido de sacarosa y favorecer una alta eficiencia de la cosecha y el transporte de la materia prima. Estudios efectuados en Tucumán por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC), destacan que la frecuencia de temperaturas mínimas entre 13-16°C durante mayo se asocian con mejoras del nivel de sacarosa, pero la frecuencia de temperaturas mínimas menores a 9°C en dicho período, afecta el rendimiento sacarino. Por supuesto que temperaturas inferiores a 0°C inciden negativamente en la calidad, reduciendo su aptitud fabril. Lluvias de importancia o una elevada humedad edáfica durante los meses de otoño e invierno retrasan la maduración y provocan problemas en la cosecha y el transporte.

## FASES FENOLÓGICAS

En la Figura 2 se representan las fases que caracterizan el desarrollo y crecimiento de la caña de azúcar, según la siguiente clasificación:

- A.-Emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos (Brotación).
- B.- Macollaje y Cierre del cañaveral.
- C.-Determinación del rendimiento cultural.
- D.-Maduración y definición de la producción de azúcar. (Período de Gran Crecimiento)

### A.- Fase de Emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos

Tradicionalmente denominada *Brotación*. Entre los principales sucesos fenológicos que definen esta fase, se destaca la emergencia sucesiva y el mantenimiento temporal (etapa de estabilización) de tallos primarios, caracterizados por mantener una altura mínima mientras incrementa el número

de hojas verdes por tallo.

El éxito de esta fase radica en la magnitud, ritmo y uniformidad de la emergencia, como también en el logro de una adecuada distribución espacial de los tallos primarios en el surco. Emergencias pobres y prolongadas afectarán el cumplimiento efectivo de las siguientes fases y finalmente la producción del cañaveral.

Las limitaciones para discriminar en campo las fases de emergencia y macollaje, están posiblemente explicadas por la baja frecuencia con que usualmente se realizan los recuentos (cada 20-30 días), restricción que se agudiza en condiciones externas adecuadas, al acelerarse su desarrollo.

### B.- Fase de Macollaje y Cierre del cañaveral

El *Macollaje* es una fase de gran importancia en la definición del rendimiento, ya que en su transcurso se establece el número potencial de órganos cosechables.

Su principal característica es el rápido aumento de la población total de tallos (Figura 2). La altura media de la población se mantiene estable hasta la mitad de esta fase, para luego registrarse un drástico cambio en el ritmo de elongación, que coincide con la finalización del macollaje y el cierre del cañaveral.

El número de hojas verdes por tallo no aumenta de manera significativa hasta la segunda mitad del macollaje, mientras que la cantidad total de hojas verdes por metro de surco o de unidad de área, debido al incremento de la población de tallos, prácticamente duplica el valor alcanzado al término de la fase de emergencia.

El ritmo de expansión del canopeo resulta favorecido por los significativos cambios que se registran en las dimensiones de las láminas foliares, aspectos que en conjunto provocan un aumento significativo del índice de área foliar (IAF), posibilitando de esta manera el *Cierre del cañaveral* que coincide con el término de la fase de macollaje. El Cierre constituye un estadio fenológico predecible y de gran importancia para el manejo del cultivo.

Si bien la radiación solar incidente (intensidad y calidad) ejerce un rol central en la regulación del macollaje, otros factores adquieren una influencia destacable como el régimen térmico, la disponibilidad de agua y nutrientes (especialmente el nitrógeno), las características del cultivar, la competencia con malezas y los efectos de plagas y enfermedades, entre otros.

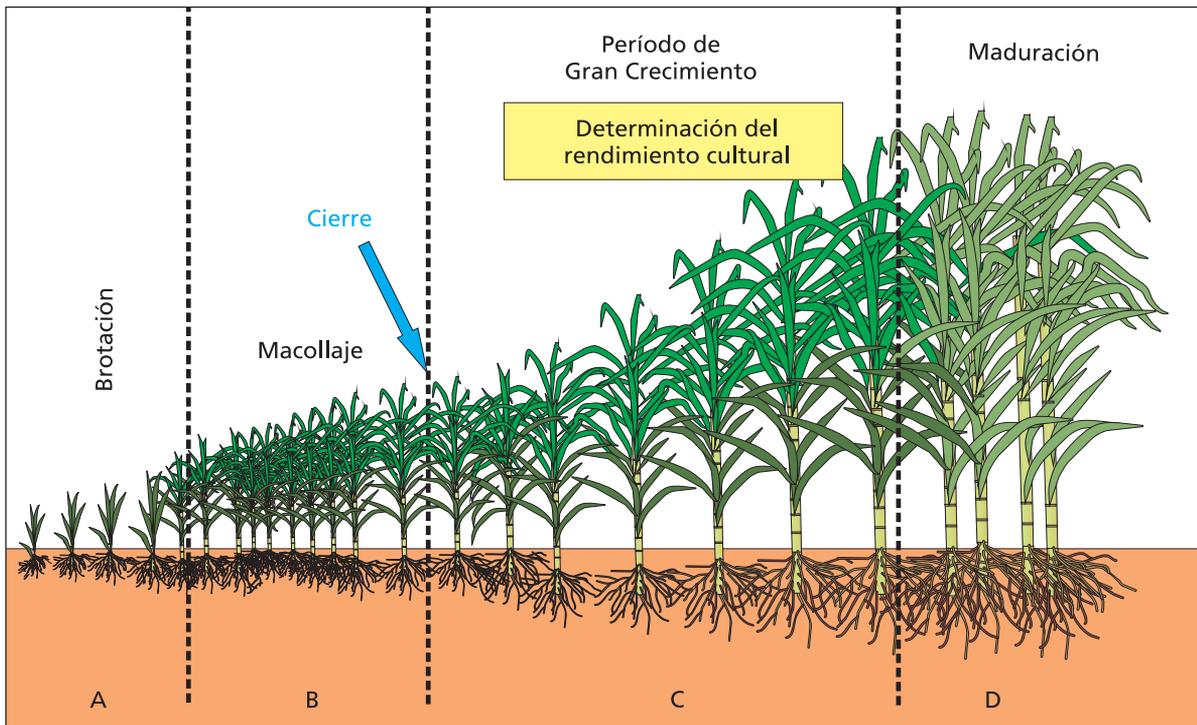


Figura 2: Fases fenológicas de la caña de azúcar.

Además, durante esta fase ocurre la generación del sistema radicular adventicio y definitivo del cañaveral.

### C.- Fase de determinación del rendimiento cultural

El nombre tradicional de esta fase es el de *Período de Gran Crecimiento*. Durante ella se define la producción de caña al determinarse la población final de tallos molibles y, en gran medida, el peso fresco por tallo. Además, se inicia el almacenamiento de azúcar en los entrenudos que van completando su desarrollo. En esta fase el cultivo expresa la máxima respuesta a los factores ambientales y de manejo.

Entre los eventos fenológicos que ocurren, se destacan los incrementos notables en altura y peso fresco de los tallos, la expansión del área foliar y la mortalidad que se registra en la población de tallos, componente básico en la determinación del rendimiento cultural.

Con el Cierre del cañaveral (finalización de la fase anterior) se desencadena una condición de severa competencia que deriva en la muerte de tallos, por lo que ocurre una disminución significativa de la población establecida al término del Macollaje.

Los porcentajes de mortalidad registrados pueden variar entre un 25 y 70%, resultando el porcentaje de mortalidad más frecuente entre un 45-50%. Esta variabilidad depende de la influencia de numerosos factores genéticos, ambientales y de manejo. Posteriormente, la población muestra una estabilización hasta la cosecha, quedando así definido el número final de tallos molibles.

Indudablemente, el ritmo intenso de crecimiento se sustenta en el significativo aumento que simultáneamente se registra en el número de hojas verdes por tallo, que alcanza su máximo valor (8-12 hojas verdes/tallo) al término de esta fase. Por ésta razón el IAF no resulta mayormente afectado por la brusca disminución de la población de tallos. Además, se registra el aumento de las dimensiones foliares y del área foliar por tallo. Los aspectos señalados permiten que el cultivo alcance y mantenga su IAF máximo, como también el máximo ritmo de incremento del peso fresco y de acumulación de biomasa.

La fecha de inicio, su intensidad y la duración de esta fase dependen estrechamente del comportamiento de los factores ambientales, que resultan definidos en gran medida por la época de plantación y/o de cosecha en el ciclo anterior y por el manejo suministrado.

Sin dudas, para optimizar el aprovechamiento de los recursos ambientales y de manejo disponibles durante esta fase, adquiere una sustancial importancia el cumplimiento efectivo y rápido de las fases de emergencia y macollaje.

**D.- Fase de maduración y definición de la producción de azúcar**

En esta fase se define el contenido final de sacarosa en los tallos y la producción de azúcar por unidad de área. Su ocurrencia se relaciona con una progresiva disminución del ritmo de elongación caulinar y el mantenimiento temporal de un área foliar fotosintéticamente activa, si bien su magnitud disminuye progresivamente asociada con la senescencia.

En el ritmo del envejecimiento foliar influyen la disponibilidad de agua, de nutrientes, la radiación solar incidente y en gran medida el comportamiento térmico, resultando agudizado por la ocurrencia de bajas temperaturas.

Los cultivares constituyen un factor intrínseco de gran importancia en la maduración, registrándose entre ellos diferencias en la modalidad y en la producción de azúcar por ha.

**TECNOLOGÍAS DISPONIBLES**

En la Tabla 1 se presentan las principales tecnologías disponibles para mejorar la capacidad productiva, la fase del ciclo en que deberán implementarse y los efectos más importantes que provocan en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

**Tabla 1: Tecnologías disponibles en Tucumán para incrementar la capacidad productiva según fase del cultivo en que se las implemente y los efectos que producen en el cultivo.**

Fase	Factores de manejo	Efectos observados
I Emergencia y macollaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistematización y preparación de suelos; época de plantación y/o corte; elección de cultivares; selección y tratamiento de caña semilla; laboreo, etc.</li> <li>• Diseño de Plantación: Surcos de base ancha.</li> <li>• Control de Malezas.</li> <li>• Riego.</li> <li>• Fertilización.</li> <li>• Plagas y enfermedades.</li> </ul>	<p>a.- Establecimiento de una alta población inicial de tallos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del porcentaje y de la velocidad de brotación.</li> <li>• Inicio temprano del macollaje y mayor producción de tallos secundarios.</li> <li>• Mejor distribución espacial.</li> </ul> <p>b.- Cierre temprano y rápido inicio de la fase siguiente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta tasa de desarrollo.</li> <li>• Altas tasas de crecimiento radicular, foliar y caulinar.</li> </ul>
II Crecimiento activo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilización (aplicación en fase I)</li> <li>• Riego.</li> <li>• Plagas y enfermedades.</li> <li>• Malezas (ejecución fase I)</li> </ul>	<p>a.- Altas y sostenidas tasas de crecimiento del cultivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar una óptima disponibilidad hídrica y nutricional.</li> <li>• Mantener una elevada población de tallos</li> <li>• Máximo aprovechamiento de las condiciones ambientales naturales del verano.</li> </ul> <p>b.- Lograr un inicio temprano de la fase siguiente.</p>
III Maduración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección de Cultivares (distribución por tipo madurativo)</li> <li>• Otros: Regulación del riego y fertilización en dosis y época adecuada.</li> <li>• Maduración química.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máxima expresión del potencial azucarero de los genotipos disponibles.</li> <li>• Inducir una reducción de la tasa de elongación de tallos.</li> <li>• Aumentar la tasa de almacenamiento sacarosa.</li> <li>• Mantener la actividad fotosintética.</li> <li>• Disminuir el contenido hídrico de tallos.</li> <li>• Mejorar la calidad fabril de la materia prima.</li> </ul>
IV Cosecha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuada planificación de zafra.</li> <li>• Optimizar la eficiencia de los sistemas de cosecha.</li> <li>• Minimizar las pérdidas de azúcar.</li> <li>• Capacidad para reordenar el programa de cosecha por efectos de heladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encadenar la maduración de los distintos cultivares y edades de los cañaverales.</li> <li>• Lograr bajos niveles de estacionamiento, de trash y pérdidas de materia prima.</li> <li>• Despuntar en un óptimo nivel.</li> <li>• Minimizar las pérdidas de azúcar y materia prima por efecto de heladas.</li> </ul>