

# Biología

Alvaro Amaya Estévez, James H. Cock, Ana del Pilar Hernández y James E. Irvine\*

En este capítulo se presentan los aspectos básicos relacionados con la morfología y la fisiología de la caña de azúcar. Los principios generales se fundamentan en la revisión de la literatura y se complementan con los resultados obtenidos en las condiciones de la industria azucarera colombiana.

## Morfología de la Caña de Azúcar

El conocimiento de la morfología de la planta permite diferenciar y reconocer las especies o variedades existentes. Este conocimiento es útil, ya que permite distinguir la constitución externa e interna de una especie y conocer cuál de sus órganos tiene la mayor importancia agroeconómica.

Las partes básicas de una planta que determinan su forma son: la raíz, el tallo, la hoja y la flor. Todas cumplen una función específica y están estrechamente relacionadas entre sí. Las estructuras externas e internas varían entre las partes, inciden en el normal funcionamiento y desarrollo de la planta y son la base para su clasificación botánica.

## Estructura externa de la planta

### El sistema radical

Constituye el anclaje de la planta y el medio para la absorción de nutrimentos y de agua del suelo. Está formado por dos tipos de raíces (Figura 1).

**Raíces de la estaca original o primordiales.** Se originan a partir de la banda de primordios radical, localizada en el anillo de crecimiento del trozo original (estaca) que se planta o siembra. Son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta el momento en que aparecen las raíces en los nuevos brotes o “chulquines”, lo cual ocurre entre los 2 y 3 meses de edad.

**Raíces permanentes.** Brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes. Son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta.

La cantidad, la longitud y la edad de las raíces permanentes dependen de las variedades; sin embargo, existen factores ambientales como el tipo de suelo y la

---

\* Alvaro Amaya Estévez es Ph.D., fitomejorador del Programa de Variedades de Cenicaña. James H. Cock es Ph.D., Director General de Cenicaña. Ana del Pilar Hernández es Bióloga de Cenicaña. James E. Irvine es Ph.D., Profesor del Centro de Investigación Agrícola, Universidad de Texas, Weslaco, Texas, EE.UU.

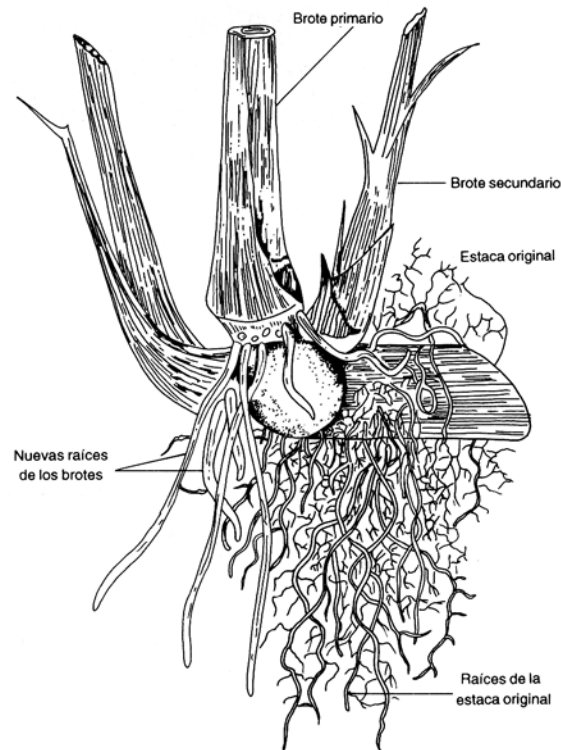


Figura 1. *Sistema radicular de la caña de azúcar.*  
FUENTE: Humbert, 1974.

humedad que influyen en estas características. Por ejemplo, los suelos arcillosos pueden reducir la longitud de las raíces, y las variedades con sistema radical más profundo y denso pueden sufrir menos daño en los períodos de sequía. Por otra parte, la distribución de las raíces es importante para el anclaje de la planta y para la absorción de agua y nutrientes. En la caña de azúcar esta distribución puede ser de los tipos: (1) absorbentes o superficiales; (2) de anclaje o sostén; y (3) profundas (Figura 2). Las raíces superficiales predominan en los primeros 60 cm de profundidad y su distribución horizontal en el suelo alcanza hasta 2 m (Blackburn, 1991).

En la caña de azúcar es difícil distinguir entre las raíces superficiales y las de sostén; además, las raíces profundas son relativamente escasas. Paz-Vergara et al. (1980), al evaluar el desarrollo radical de dos variedades en sitios y en cortes diferentes a edades que variaron desde 4 hasta 19 meses, encontraron el 85% de las raíces en los primeros 60 cm de profundidad, independiente de la edad, la variedad y el corte.

Domínguez (1990) evaluó el crecimiento radical en la plantilla de las variedades MZC 74-275, Mex 68-200 y PR 11-41, cultivadas en un Mollisol de la

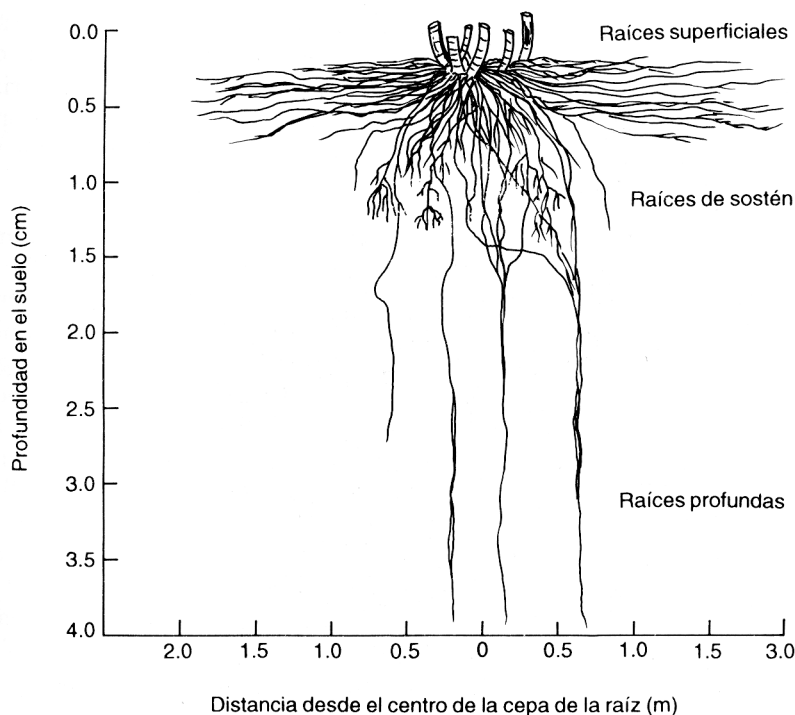


Figura 2. Distribución de las raíces de la caña de azúcar.  
FUENTE: Blackburn, 1991.

serie Manuelita, en un Inceptisol de la serie Palmeras y en un Alfisol de la serie Argelia, a profundidades entre 0 y 100 cm y a edades entre 3 y 12 meses. El mayor desarrollo radical ocurrió entre 3 y 6 meses, especialmente en las variedades Mex 68-200 y MZC 74-275. Los resultados mostraron una respuesta diferencial de acuerdo con los sitios; así, en la serie Palmeras, las variedades Mex 68-200 y MZC 74-275 presentaron un mayor desarrollo radical que la variedad PR 11-41. En la serie Argelia, las variedades Mex 68-200 y PR 11-41 fueron similares, pero superiores a la variedad MZC 74-275, mientras que en la serie Manuelita no hubo diferencias significativas entre el desarrollo radical de las variedades. En general se observó una mayor cantidad de raíces (entre 80% y 92%) en los primeros 40 cm de profundidad, lo cual sugiere concentrar las prácticas de preparación del suelo y de cultivo hasta esta profundidad.

### El tallo

El tallo es el órgano más importante de la planta de la caña, ya que en él se almacenan los azúcares. La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de los tallos, que se originan de las yemas del material vegetativo de siembra y de las yemas de los nuevos brotes subterráneos. El número, el

diámetro, el color y el hábito de crecimiento del tallo dependen principalmente de las variedades. El tamaño o longitud de los tallos depende, en gran parte, de las condiciones agroecológicas de la zona donde crece y del manejo que se le brinde a la variedad. El tallo se denomina primario, secundario, terciario, etc., si se origina de las yemas del material vegetativo original, del tallo primario, o de los tallos secundarios, respectivamente (Figura 3).

Existen variedades en las cuales el desarrollo vegetativo no es uniforme y presentan una alta frecuencia de tallos con edades muy diferentes. También ocurre, a veces, que cuando estos alcanzan un avanzado desarrollo brotan numerosos tallos débiles que no tienen valor para la molienda. En Colombia, a estos tallos se les llama “chulquines”; y en algunos casos, presentan un grosor exagerado y se les denomina “bretones”. Este tipo de tallos también aparece con frecuencia cuando las yemas basales del tallo principal quedan expuestas a una mayor acción de los rayos solares, como ocurre cuando se presenta volcamiento o el hábito de crecimiento es abierto. Otros tallos con brotes laterales son las “lalas”, que se originan cuando se afecta la dominancia apical del punto de crecimiento, lo cual ocurre generalmente durante la floración, cuando se presentan daños físicos por el ataque de insectos o por la aplicación de madurantes, y por el estímulo directo de la yema como en los casos de la “escaldadura” de la hoja y el carbón. También puede deberse a una condición genética directa o por la acción envolvente de la yagua, que permite la acumulación de agua y facilita la germinación de las yemas.

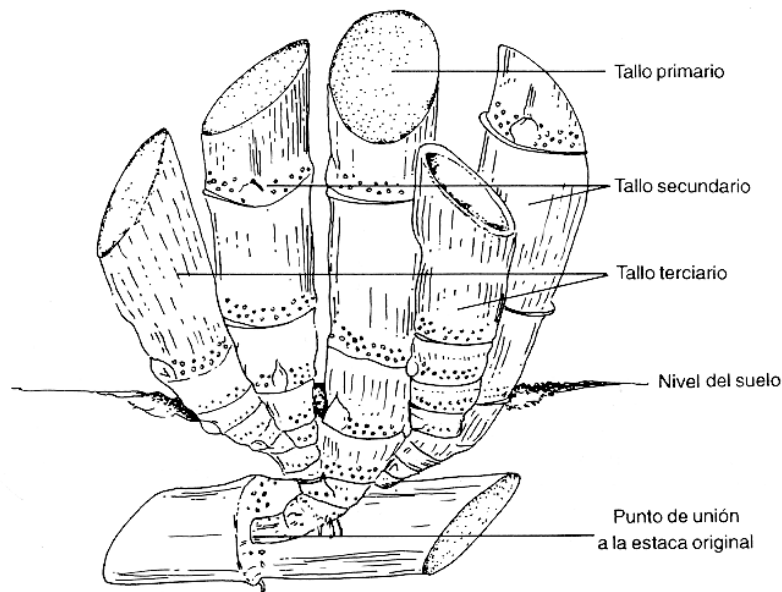


Figura 3. *Diferenciación de los tallos de la caña de azúcar.*  
FUENTE: Humbert, 1974.

Los tallos de la caña de azúcar están formados por nudos, que se encuentran separados por entrenudos en los que se desarrollan las yemas y las hojas (Figura 4).

**Nudo.** Es la porción dura y más fibrosa del tallo de la caña que separa dos entrenudos vecinos. El nudo está formado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, el nudo propiamente dicho, la yema y el anillo ceroso (Figura 4).

El anillo de crecimiento posee una coloración diferente, generalmente más clara, y a partir de él se origina el entrenudo. La banda de raíces es una zona pequeña que sobresale del nudo en donde se originan las primeras raíces (primordiales). La cicatriz foliar, o de la vaina, rodea al nudo después de que la hoja se cae. La yema es la parte más importante ya que da origen a los nuevos tallos. Cada nudo presenta una yema en forma alterna protegida por una vaina foliar o yagua; a veces, se encuentran tallos con más de una yema por nudo, pero esto es una anomalía fisiológica y no tiene importancia económica. La forma de la yema y su pubescencia son diferentes en las variedades y ambos caracteres se usan para la identificación de éstas. En la parte superior de la yema y sobre el entrenudo se proyecta una hendidura llamada canal de la yema. Las partes más importantes de la yema (Figura 5) son las alas, localizadas en forma lateral; el poro germinativo que se encuentra en la parte superior; el apéndice, que es la

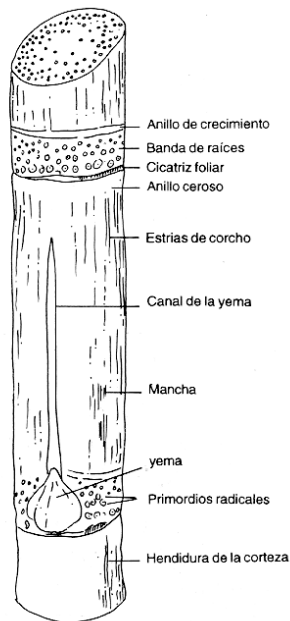


Figura 4. Partes principales del tallo de la caña de azúcar.

FUENTE: Artschwager y Brandes, 1958.

Figura 4. *Partes principales del tallo de la caña de azúcar.*  
FUENTE: Artschwager y Brandes, 1958.

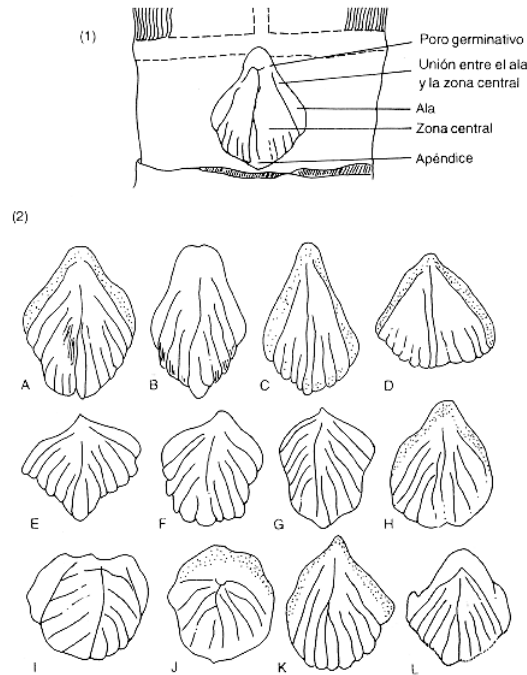


Figura 5. Partes de la yema del tallo de la caña de azúcar (1), y formas más comunes (2): A: Ovoide; B: Ovoide angosta; C: Deltoide larga; D: Deltoide corta; E: Romboide; F: Pentagonal; G: Pentagonal con alas en la parte superior; H: Ovoide angosta con alas prominentes en la parte superior; I: Redonda con alas laterales; J: Redonda con poro germinal central; K: Ovoide con alas pronunciadas; L: Ovoide con alas secundarias.

FUENTE: Artschwager Brandes, 1958.

prolongación del margen de la región donde se encuentra el poro germinativo y de los lados de la yema propiamente dicha. El anillo ceroso es una capa que recubre la parte superior del nudo, y su intensidad varía de acuerdo a las variedades.

**Entrenudo.** Es la porción del tallo localizada entre dos nudos. En la parte apical del tallo, los entrenudos miden unos pocos milímetros y en ellos ocurre la división celular que, a su vez, determina la elongación y la longitud final.

El diámetro, el color, la forma y la longitud de los entrenudos cambian con las variedades. El color es regulado por factores genéticos, cuya expresión y penetración pueden ser influidos por las condiciones ambientales, en especial, por la exposición directa a la luz. Las formas más comunes del entrenudo son: cilíndrico, abarrilado, en forma de huso, conoidal, obconoidal y cóncavo-convexo (Figura 6).

En la parte terminal del tallo se encuentra el meristemo apical (Figura 7), rodeado por los primordios foliares. En las variedades que aún se encuentran en

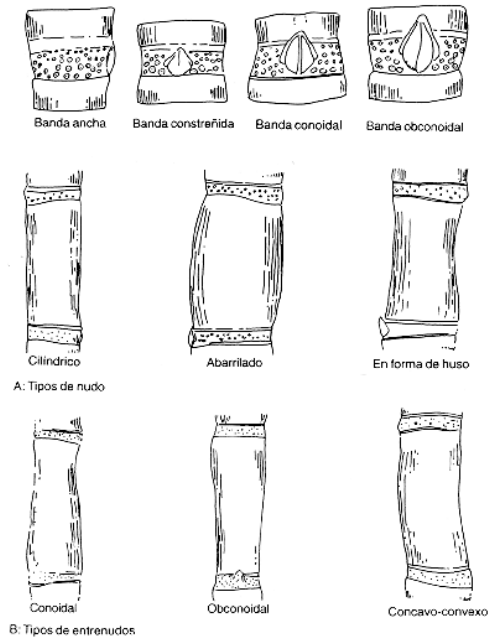


Figura 6. *Tipos de nudos (A) y entrenudos (B) del tallo de la caña de azúcar*  
 FUENTE: Blackburn, 1991.

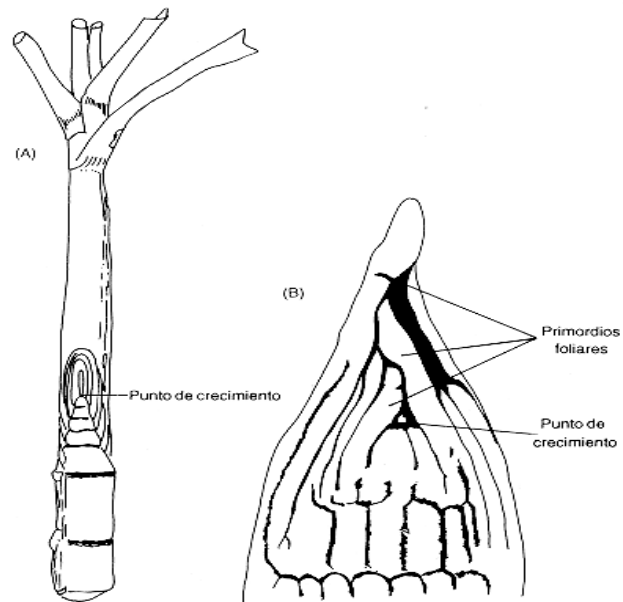


Figura 7. *Localización de los puntos de crecimiento del tallo de la caña de azúcar (A) y partes que los conforman (B).*

la fase vegetativa, el ápice se caracteriza por tener primordios foliares en diferentes grados de desarrollo y un meristemo apical de tamaño pequeño y redondeado. Las células de dicho tejido presentan núcleos grandes y vacuolas pequeñas desprovistas de tonoplasto. En cambio, en las variedades que inician su fase reproductiva, el meristemo apical es alargado y forma el eje de la inflorescencia, presentando células con vacuolas medianas y tonoplasto (Sam, 1991).

Una vez que se cosechan los tallos de la plantilla, sus raíces mueren; al mismo tiempo, las yemas y los primordios radicales de la cepa rebrotan para dar origen a la soca, siempre y cuando, las condiciones ambientales sean favorables. El número de cortes del cultivo (plantilla y socas) depende de la variedad, de las prácticas culturales y de las condiciones ambientales en el momento de la cosecha. En forma general, existe una tendencia a disminuir la producción, a medida que avanza el número de cortes (Figura 8).

La germinación y el desarrollo de las raíces de la caña dependen de factores genéticos y ambientales. En las variedades que tienen baja germinación, es posible incrementar ésta por medio de prácticas culturales, o controlando el balance hormonal que regula tal proceso. En Sudáfrica (SASA, 1983) y en Taiwan (Yang y Chen, 1980) se encontró que la germinación de la caña se incrementa a una temperatura cercana a 30 °C y disminuye a medida que ésta es menor. Esto se debe a una disminución de las invertasas ácidas y neutras como resultado de una menor conversión de la sacarosa a glucosa, ya que este último producto es importante para la actividad de tales enzimas. Estudios sobre el nivel hormonal en dos tipos de estacas —con buena o con pobre germinación—, indicaron que las

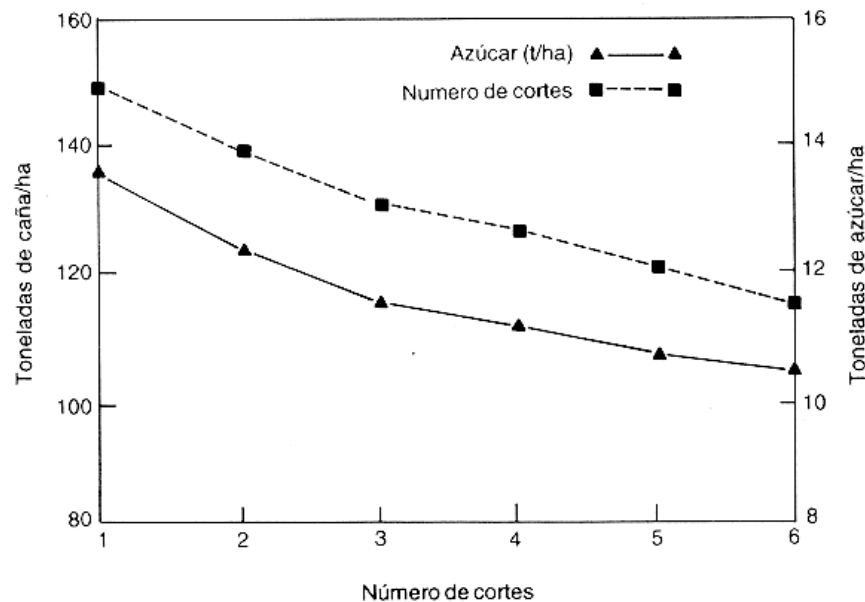


Figura 8. Producción de caña y de azúcar en la industria azucarera colombiana, de acuerdo con el número de cortes.  
FUENTE: Luna et al., 1992.

concentraciones altas de los ácidos absísico (ABA) e indolacético (IAA) reducen la germinación. No obstante, ésta puede mejorarse tratando las estacas durante un tiempo corto en agua caliente a 50 °C, o sumergiéndolas en soluciones que contengan productos alcalinos como el bicarbonato de sodio (SASA, 1983). De esta manera, se mejoró la germinación hasta en un 30% cuando las estacas de caña, antes de plantarlas, se sumergieron en una solución que contenía cal (CENICANA, 1987).

La caña de azúcar presenta dominancia apical, lo cual sucede cuando la acción de ciertas auxinas induce la germinación de las yemas superiores del tallo, a la vez que retarda el desarrollo de las yemas basales. Esto puede inducir una mayor frecuencia de espacios sin germinar a lo largo del surco de siembra, cuando los trozos son demasiado largos o provienen de la parte basal del tallo (Figura 9). Por esta razón, las siembras comerciales se hacen con trozos de caña y no con tallos enteros.

En CENICANA (1982) se encontró que la germinación en las variedades CP 57-603 y POJ 28-78 disminuyó en 35% y 9%, respectivamente, cuando se plantaron con tallos enteros en relación con la plantación con estacas. Aunque 4 meses después —época de máxima población— el número de tallos fue menor cuando se utilizaron tallos enteros, la producción de caña fue similar en ambos sistemas (tallos enteros vs. estacas).

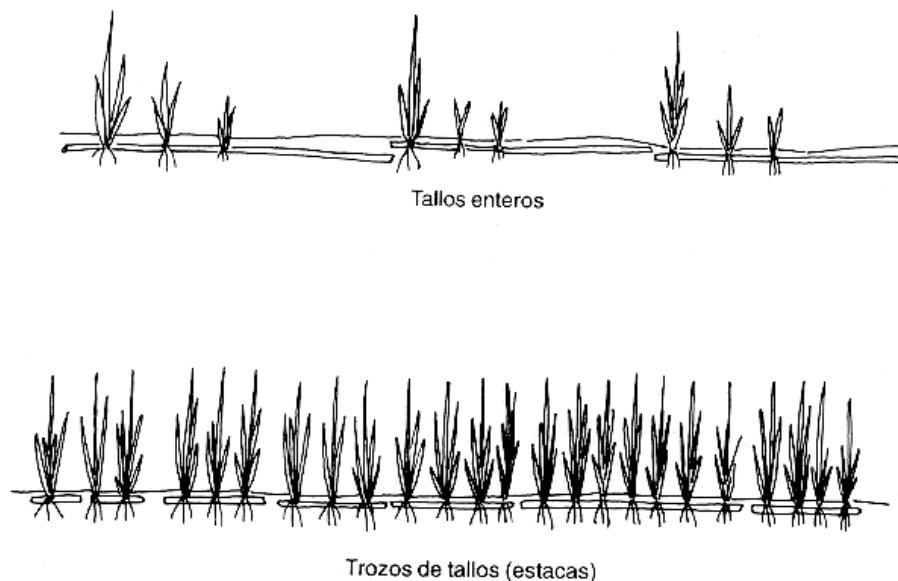


Figura 9. *Perspectiva de la dominancia apical en la germinación y enraizamiento de la caña de azúcar.*  
FUENTE: Blackburn, 1991.

## La hoja

Las hojas de la caña de azúcar se originan en los nudos y se distribuyen en posiciones alternas a lo largo del tallo a medida que éste crece. Cada hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina o yagua. La unión entre estas dos partes se denomina lígula y en cada extremo de ésta existe una aurícula con pubescencia variable. La forma y el color de la lígula, así como la forma de la aurícula, son características importantes en la diferenciación de las variedades de la caña de azúcar (Figura 10).

**Lámina foliar.** Es la parte más importante para el proceso de la fotosíntesis, y su disposición en la planta difiere con las variedades, siendo las más comunes la pendulosa y la erecta. La disposición de la lámina no determina los rendimientos en sacarosa ni la producción de caña; por lo tanto, es posible encontrar variedades con altos o bajos rendimientos que tienen distintas formas de disposición de las hojas en cualquier densidad de siembra (Cuadro 1) (Irvine y Benda, 1980). La lámina foliar tiene una nervadura central que la recorre en toda su longitud, y paralela a ella se encuentran las nervaduras secundarias. Los bordes presentan prominencias continuas en forma aserrada, cuyo número y longitud cambian con las variedades.

**Yagua o vaina.** Tiene forma tubular, envuelve el tallo y es ancha en la base. Puede ser glabra o recubierta de pelos urticantes en cantidad y longitud que cambian con las variedades. Su color es, generalmente, verde cuando joven, pero

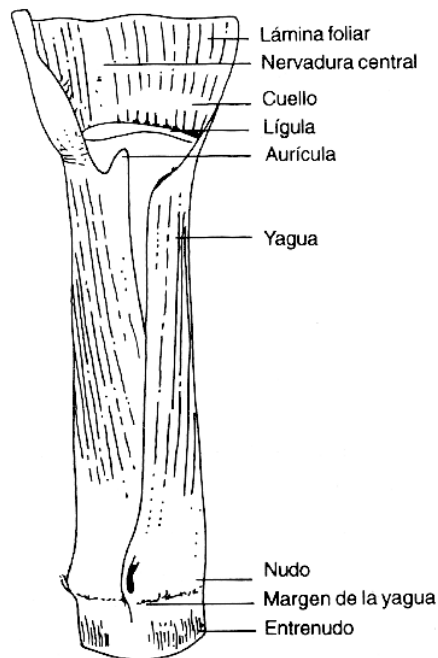


Figura 10. Partes estructurales de la hoja de la caña de azúcar.  
FUENTE: Humbert, 1974.

Cuadro 1. **Eficiencia fotosintética de variedades de caña de azúcar con hojas erectas y pendulosas.**

Variedad	Eficiencia fotosintética <sup>a</sup>	
	Distancia reducida entre surcos	Distancia amplia entre surcos
Con hojas erectas:		
L 62-96	1.41	0.55
L 60-25	1.36	0.56
Co 281	1.22	0.52
CP 36-13	1.03	0.50
CP 44-101	1.61	0.56
Promedio	1.33	0.54
Con hojas pendulosas:		
CP 65-357	1.86	0.63
F 36-819	1.71	0.50
NCo 310	1.05	0.52
Co 290	1.07	0.46
CP 61-37	0.99	0.53
Promedio	1.34	0.53

a. Calorías de biomasa cosechada x 100/calorías incidentes.

FUENTE: Irvine y Benda, 1980.

cambia a rojo-púrpura cuando la hoja logra su completo desarrollo. La intensidad con que se adhieren las yaguas al tallo difiere con las variedades, siendo preferible que se desprendan fácilmente una vez que éste se desarrolla, ya que se facilita la quema y el corte de la planta y disminuye las impurezas al momento de la molienda. Las variedades que tienen poco deshoje y que se cultivan en áreas con alta retención de humedad pueden presentar brotes a partir de las yemas y enraizamiento en los nudos, lo que puede disminuir la concentración de sacarosa al momento de la cosecha.

El color de las hojas de la caña de azúcar varía de verde-claro a oscuro. Sin embargo, es posible encontrar variedades con colores púrpura o verde-púrpura. Esto se debe a una mayor acumulación de antocianinas, como ocurre en la variedad Obispo. En ocasiones se presentan variegaciones y albinismos, debidos a anomalías fisiológicas o genéticas.

El sistema más común de numeración de las hojas es el propuesto por Clements y Ghotb (1969), en el cual la primera hoja con cuello visible corresponde al número 1. La longitud y el ancho de la lámina foliar dependen de las variedades. La longitud de ésta en las hojas superiores de los tallos en estado vegetativo es tres a cuatro veces mayor que la longitud de la yagua, mientras que en los tallos en floración la yagua es más larga y la lámina foliar tiende a ser más corta (Moore, 1974; Blackburn, 1991).

### La flor

La caña de azúcar presenta dos fases de desarrollo. La vegetativa, originada por la división celular en los puntos de crecimiento; y la reproductiva o de floración, que es una continuación de la anterior, y ocurre cuando las condiciones ambientales de fotoperíodo, temperatura, disponibilidad de agua y nivel de nutrimentos en el suelo son favorables (Moore, 1987; CENICANA, 1987, 1988, 1989 y 1990).

La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones en las cuales se insertan las espiguillas, una frente de la otra; éstas contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas (Figura 11). Cada flor está rodeada de pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso. En cada ovario hay un óvulo el cual, una vez fertilizado, da origen al fruto o carióspside. Por lo tanto, lo que comúnmente se conoce como semilla es una carióspside. El fruto es de forma ovalada de 0.5 mm de ancho y 1.5 mm de largo, aproximadamente, (Figura 12).

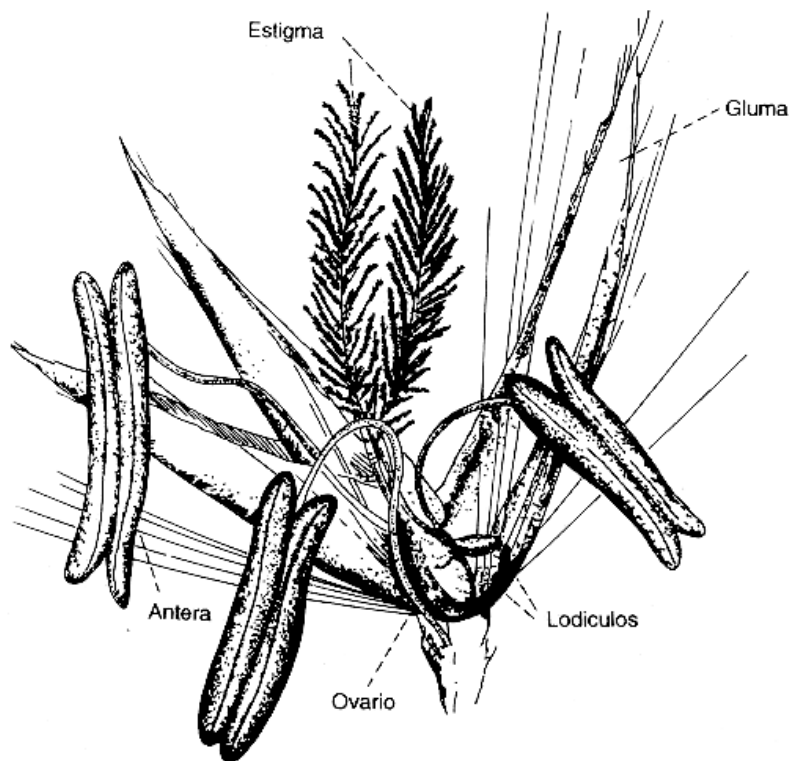


Figura 11. *Flor de la caña de azúcar.*  
Fuente: Moore, 1987.

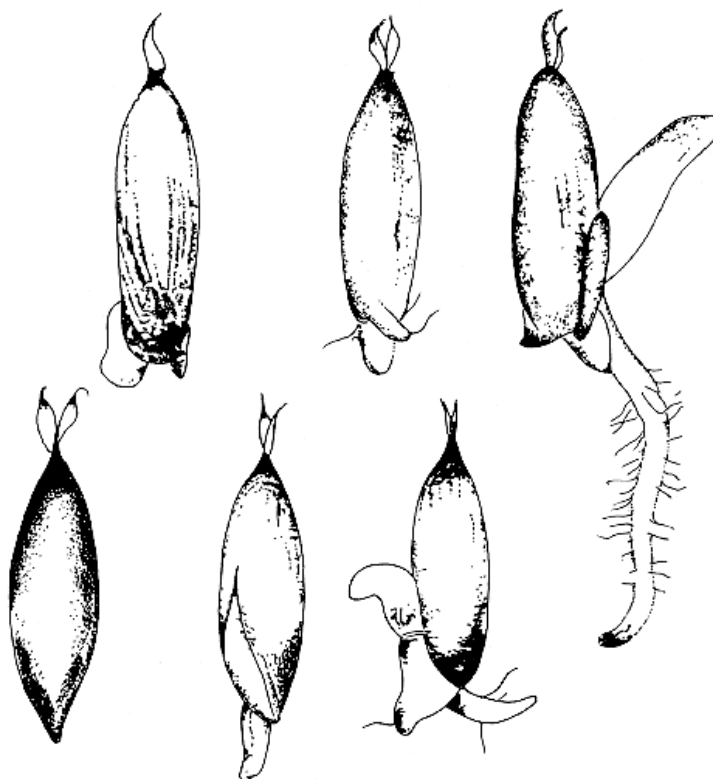


Figura 12. *Semillas de caña de azúcar en diferentes estados de desarrollo.*  
FUENTE: Moore, 1987.

## Estructura interna de las partes de la planta

### La raíz

Las partes estructurales internas de la raíz de la caña de azúcar son la epidermis, la corteza y el tejido vascular.

La epidermis está formada por grupos de células con paredes muy delgadas, a partir de las cuales se originan los pelos absorbentes. La corteza está comprendida entre la epidermis y el tejido vascular y consiste en capas de células que se desintegran a medida que la raíz crece. El tejido vascular se distribuye internamente en forma radial en grupos alternos de células del xilema y el floema, protegidas por un tejido fibroso (Figura 13).

En el extremo de la raíz se encuentra el punto de crecimiento protegido por la cofia, que le permite penetrar las partículas del suelo.

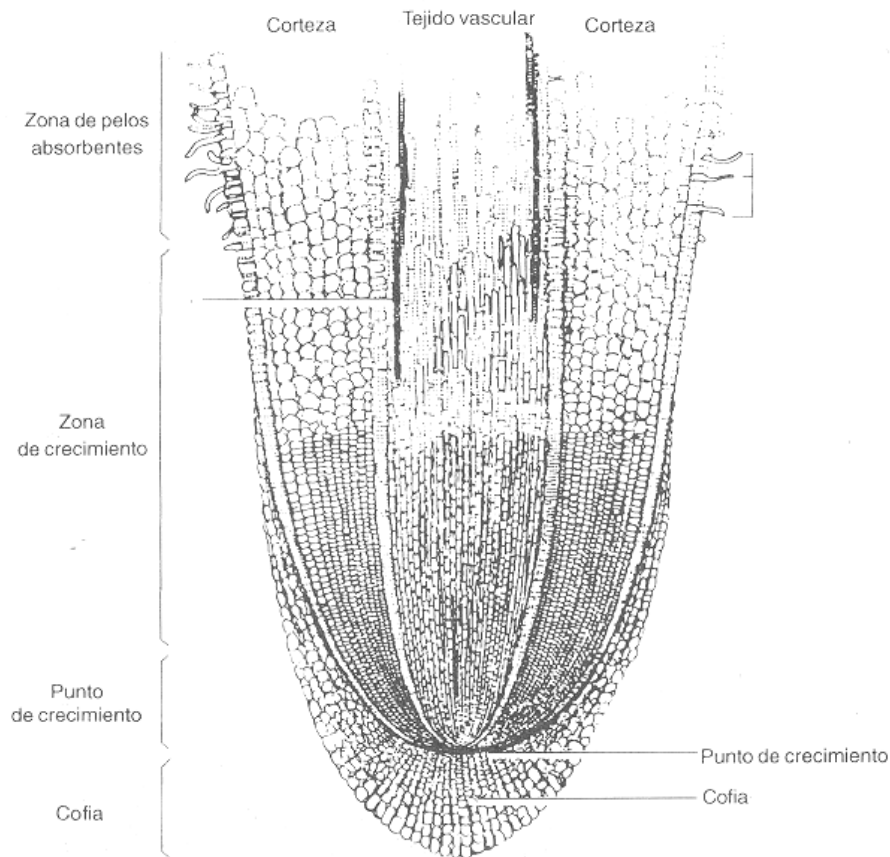


Figura 13. Corte longitudinal de una raíz de caña de azúcar.  
FUENTE: Julien et al., 1989.

### El tallo

En forma transversal, el tallo consta de la epidermis, la corteza y el parénquima. En este último se distribuyen los haces vasculares. Ocasionalmente, y en ciertas condiciones de desarrollo, se observa la formación de corcho o médula en la región central del tallo. El tejido epidérmico está formado por células de corcho con paredes delgadas que se encuentran asociadas con células de sílice. La corteza está constituida por un número variable de capas de tejido

## Biología

esclerenquimatoso con células de pared dura. Los haces fibrovasculares del xilema y del floema se encuentran rodeados de un alto número de células pequeñas que constituyen la fibra. Los haces vasculares son pocos y de gran tamaño en la parte central del tallo, mientras que en la periferia son abundantes y de menor tamaño (Figura 14). En el tallo la mayor concentración de azúcares ocurre de la corteza hacia el centro, siendo mayor en el intermedio entre estas dos partes (Fernandes y Benda, 1985).

Las variedades con alta concentración de sacarosa tienen células más pequeñas, pared celular gruesa y mayor número de haces vasculares que las variedades con baja concentración. Oworu et al. (1977) no encontraron relación entre el porcentaje total de fibra —epidermis más tejido de almacenamiento— y la concentración de sacarosa, pero sí entre esta última y el porcentaje de fibra del tejido de almacenamiento, excluyendo la epidermis. Lo anterior sugiere que las variedades con mayor porcentaje de fibra en el tejido del parenquima, el cual está ligado a un mayor número de haces vasculares, pueden presentar mayor capacidad de almacenamiento de sacarosa.

### La hoja

La hoja es la parte de la planta en donde ocurre la transformación del agua, el  $\text{CO}_2$  y los nutrimentos en carbohidratos, en presencia de la luz solar.

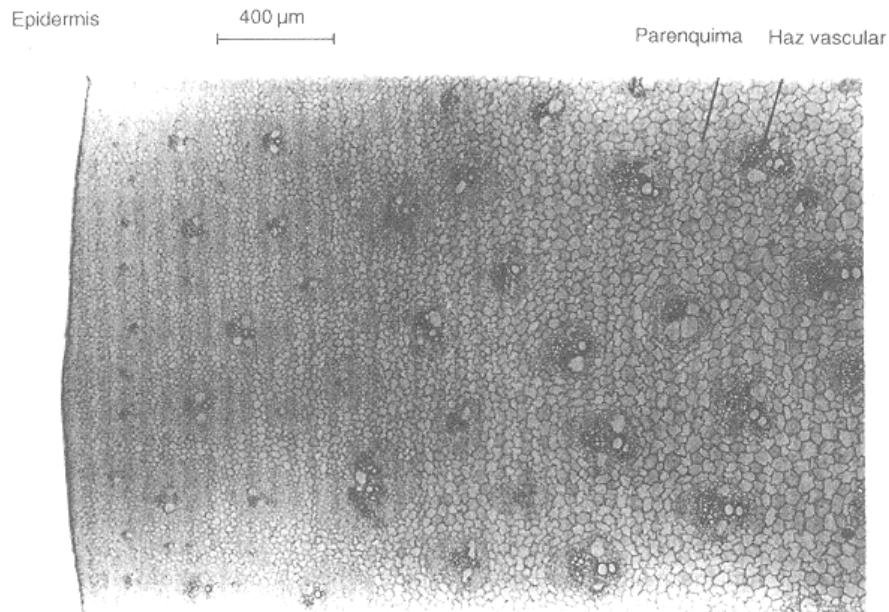


Figura 14. *Corte transversal de un tallo de caña de azúcar.*  
FUENTE: Moore, 1987.

Las funciones principales de la hoja son: (1) la fotosíntesis y la translocación de nutrimentos; (2) la respiración, y (3) la transpiración. Cada uno de estos procesos implica un intercambio de gases entre el interior y el exterior de la planta, que es controlado por los estomas. Las partes más importantes de la hoja son la epidermis, los haces vasculares, el tejido fotosintético y el parénquima (Figura 15).

La epidermis está formada por una capa de células en la cual se encuentran los estomas. A través de éstos se realiza el intercambio de CO<sub>2</sub>, oxígeno y vapor de agua entre la atmósfera y la parte interna de la hoja. Los estomas están rodeados por células especializadas que controlan su apertura o cierre. Cuando la planta tiene deficiencia de agua, los estomas se cierran, previniendo, de esta forma, el marchitamiento rápido; sin embargo, los estomas constituyen una puerta de entrada para hongos y bacterias causantes de enfermedades.

Los haces vasculares son de varios tamaños y están formados por: (1) las células del xilema, que conducen el agua y los nutrimentos en sentido ascendente, y (2) las células del floema, que transportan los productos de la fotosíntesis en forma descendente hacia las partes de la planta. Alrededor de estas dos clases de células se encuentra un grupo de células fibrosas, las cuales dan consistencia a la hoja (Figura 15).

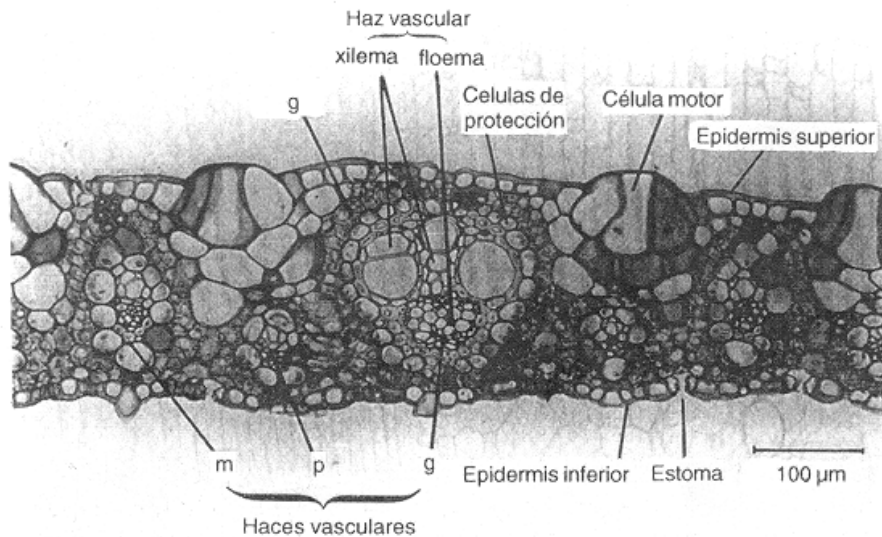


Figura 15. Corte transversal de una hoja de caña de azúcar. Nótese la presencia de los haces vasculares pequeños (p), medianos (m) y grandes (g). FUENTE: Moore, 1987.

El tejido fotosintético está formado por células que contienen los cloroplastos; éstos a su vez contienen la clorofila que absorbe la energía solar necesaria para la fotosíntesis. Este tejido, que rodea los haces vasculares, forma una capa debajo de la epidermis y constituye el pulmón de la planta pues a través de él entra y salen el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$ , y se expelen el agua al exterior. El resto del tejido interno de la hoja está formado por células de formas irregulares y de paredes delgadas.

## Fisiología de la Caña de Azúcar

Los aspectos fisiológicos más importantes, relacionados con el proceso de la fotosíntesis y con los componentes de producción de la caña de azúcar, se presentan a continuación.

### Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso fundamental que determina la productividad del 90% o más de la biomasa seca y, en el caso de la caña de azúcar, del 100% de los productos útiles: la sacarosa y el bagazo.

La caña de azúcar pertenece al grupo de plantas del tipo C-4, en las cuales los primeros productos de la fotosíntesis tienen cadenas de cuatro átomos de carbono. Estas plantas se caracterizan por la alta tasa de fotosíntesis en las hojas individuales que se manifiesta en una alta producción de biomasa por hectárea y por año.

La tasa de fotosíntesis de la caña presenta una alta variabilidad, con valores hasta de 63 micromoles ( $\mu\text{m}$ ) de  $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{seg}$  (Bull, 1969). Irvine (1967), en diferentes variedades de caña, encontró tasas entre 22 y 55  $\mu\text{mol}$  de  $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{seg}$ , mientras que en CENICANA se han obtenido hasta 50  $\mu\text{mol}$  de  $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{seg}$ .

En las variedades de caña existen características que se relacionan con la tasa fotosintética neta ( $F_n$ ). Así, existe una correlación negativa entre esta tasa y el ancho de la hoja, y positiva con el grosor y el peso específico ( $\text{mg}/\text{dm}$ ) (Irvine, 1975). En las hojas normales de algunas variedades, la  $F_n$  no se correlaciona con el contenido de clorofila, pero sí con la porosidad de la hoja (Rosario y Musgrave, 1974). Hasta el momento no se ha encontrado una relación directa entre la tasa fotosintética de las hojas y la producción de caña debido, posiblemente, a los problemas que aún existen para la medición de la  $F_n$  en forma consistente y de otros factores como el índice de área foliar y la disposición de las hojas, que inciden en la producción final y enmascaran los efectos de las diferencias en  $F_n$ .

En caña de azúcar, la  $F_n$  aumenta con la intensidad de la luz y muestra la característica de las plantas C-4 en el sentido de no alcanzar un nivel de saturación a altas intensidades (Figura 16). En las zonas tropicales, cuando la radiación solar es alta, generalmente en horas del medio día, los rayos del sol inciden en forma vertical, lo cual favorece una menor intensidad de la iluminación en plantas con hojas erectas, en comparación con plantas de hojas menos erectas. Lo anterior sugiere que esto puede contribuir a la obtención de mayores producciones de

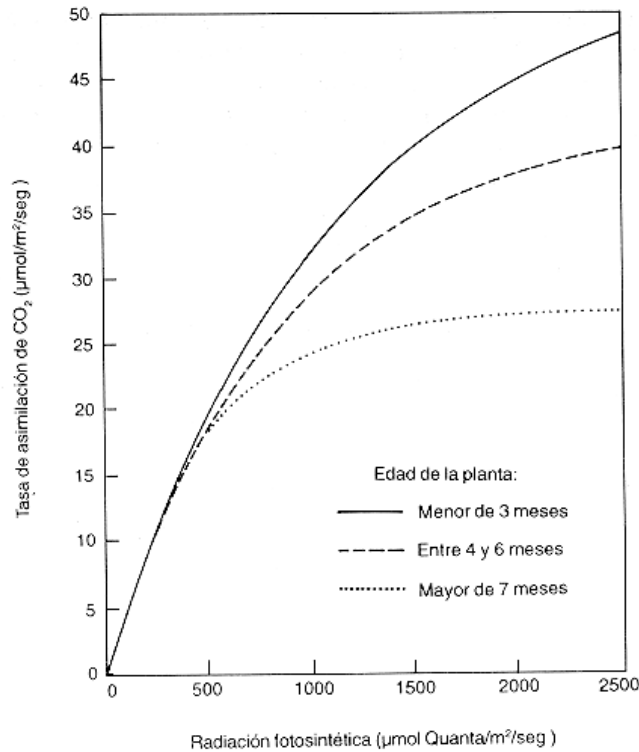


Figura 16. *Relación entre la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (Fotosíntesis) de la caña y la disponibilidad de luz, a varias edades del cultivo.*  
 FUENTE: CENICAÑA Informe Anual 1992.

biomasa; sin embargo, en la caña este efecto es mínimo debido a que, como se mencionó antes, la fotosíntesis no se satura cuando la iluminación es alta. Irvine y Benda (1980) no encontraron diferencias en la eficiencia fotosintética al comparar variedades de caña con hojas erectas y con hojas horizontales; sin embargo, en CENICAÑA se encontró que, aunque en las plantas jóvenes no se logra la saturación por la luz, en plantas más viejas esto sí ocurre (Figura 16), lo que sugiere la posibilidad de alcanzar algunas ventajas con variedades de hojas más erectas, especialmente cuando éstas tienen una mayor edad.

La temperatura óptima para la fotosíntesis es relativamente alta y se encuentra alrededor de 34 °C (Alexander, 1973). Aunque esta temperatura es más alta que la registrada en la zona azucarera de Colombia, es necesario notar que la temperatura en las hojas que reciben la radiación solar en forma directa es, generalmente, más alta que la temperatura en el aire. En la estación de CENICAÑA, Valle del Cauca, al medio día o en las primeras horas de la tarde, se han observado en las hojas temperaturas entre 29 y 34 °C. Estas se acercan al óptimo y están dentro del rango en el cual los cambios en temperatura tienen poca influencia sobre la tasa de fotosíntesis.

La tasa fotosintética de la caña aumenta con la concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire (Hart y Burr, 1967). En zonas como Hawaii, en donde los vientos son fuertes y la disponibilidad de  $\text{CO}_2$  varía poco, la concentración de éste en el aire no limita la producción (Hart y Burr, 1967). Sin embargo, Cock y et al. (1993) han encontrado una depresión marcada en la concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire durante el día en el centro de la zona azucarera de Colombia, lo cual indica que existe cierta limitación para la producción en esta zona cuando hay poco viento. Es importante señalar que el incremento en la concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire, debido al uso de combustibles de origen fósil, es suficiente para afectar la productividad de la caña. Se considera que este aumento desde 1950 hasta la fecha, es suficiente para incrementar en más de 10% la producción primaria de biomasa.

La tasa de fotosíntesis de las hojas de la caña está estrechamente relacionada con la conductancia estomática (Figura 17). Esta última, a la vez, es controlada por varios factores, entre los cuales los más importantes son la intensidad de la luz y el balance hídrico del complejo planta-suelo-aire.

La tasa de fotosíntesis neta ( $F_n$ ) es alta en plantas jóvenes, y después de 4 a 5 meses empieza a decrecer (Hart y Burr, 1967; Waldron et al., 1967; Kortschak

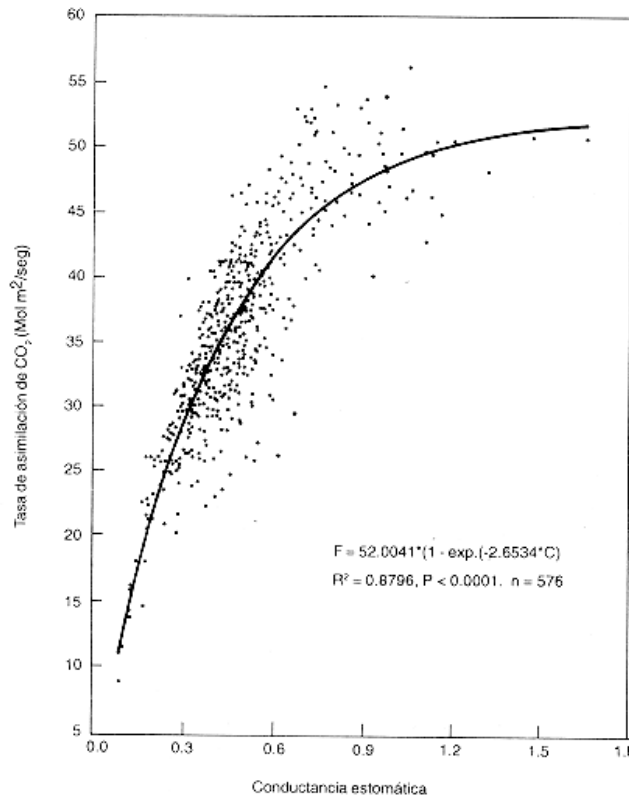


Figura 17. Relación entre la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  y la conductancia estomática en la caña de azúcar.

y Forbes, 1968; Bull y Tovey, 1974). Las investigaciones en CENICAÑA confirmaron que la  $F_n$  es más alta en plantas jóvenes a niveles de luz superiores a  $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$ —en el valle geográfico del río Cauca la luz al medio día sin nubes es, aproximadamente, de  $2200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$  (Figura 16)—. En la zona azucarera de Colombia, la  $F_n$  máxima ocurre en plantas de 3 meses de edad y luego decrece notoriamente (Figura 18). Aunque la intercepción de la radiación solar puede ser casi completa entre 4 y 5 meses después de la siembra, o a la misma edad en las socas después de la cosecha anterior, la tasa de producción de biomasa tiende a disminuir con la edad del cultivo. La  $F_n$  también es afectada, entre otros factores, por la acumulación de metabolitos. Hart (1963) sugiere que cuando la insolación es alta, la mayor acumulación de sacarosa en las hojas puede inhibir la fotosíntesis. Sin embargo, otros investigadores (Waldron et al., 1967; Irvine, 1967; Alexander, 1973) no encontraron disminución en la tasa de  $F_n$  debido a la acumulación de metabolitos. Por otro lado, los resultados obtenidos por CENICAÑA en este sentido no son concluyentes y no excluyen la posibilidad que en las condiciones del valle geográfico del río Cauca, la acumulación de sacarosa pueda inhibir la tasa de fotosíntesis.

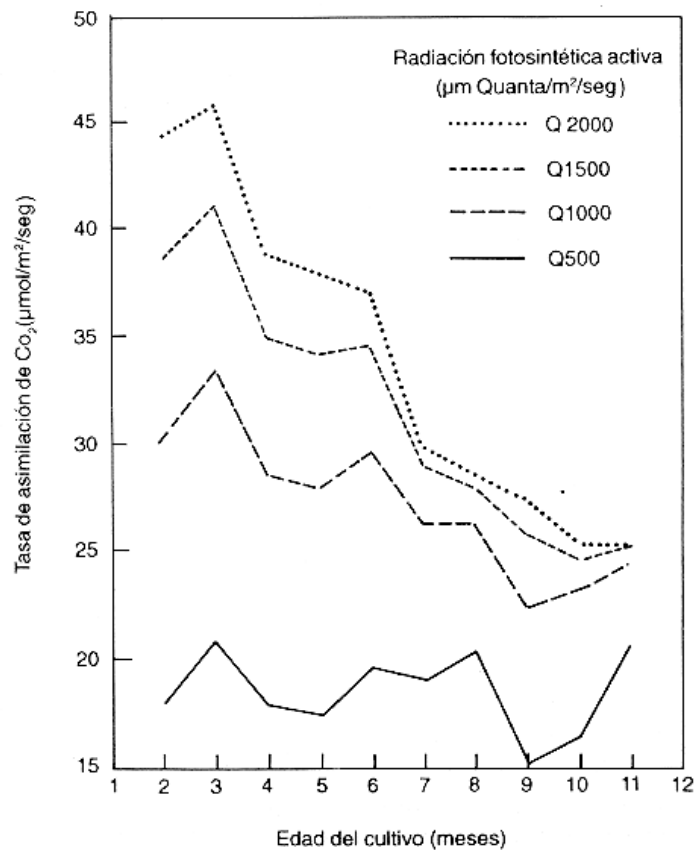


Figura 18. Fluctuación de la tasa de fotosíntesis con la edad del cultivo de la caña de azúcar.

Las observaciones sobre el efecto de algunos patógenos en la  $F_n$  no son concluyentes. Irvine (1971), en plantas infectadas con cuatro razas de mosaico, encontró que sólo dos de ellas afectaron la  $F_n$  de la caña, mientras que la raya clorótica y el raquitismo de las hojas no tuvieron efecto sobre este proceso.

Aunque Rosario y Musgrave (1974) no encontraron una relación entre el contenido de clorofila y la  $F_n$  en hojas normales, Hart y Burr (1967) y Alexander (1973) demostraron que las deficiencias de nitrógeno, potasio y fósforo resultaron en un menor valor de la  $F_n$ . A pesar de la falta de información, parece lógico pensar que la  $F_n$  disminuye con deficiencias de cualquier nutrimento que cause clorosis.

**Tasa de crecimiento.** La tasa de crecimiento de la caña se mide en términos de materia seca (MS) producida por unidad de área y tiempo. La información que existe en este sentido en la zona tropical próxima a la línea ecuatorial es escasa; se sabe que el tallo es la parte de la planta que tiene la mayor importancia económica, y con frecuencia se utilizan el número y la tasa de elongación de éste para estimar el crecimiento.

En el valle geográfico del río Cauca, durante los primeros 3 meses de crecimiento de la planta ocurre un período en el cual el macollamiento es rápido y el alargamiento de los tallos es mínimo. Luego, cuando aumenta la biomasa del cultivo, hay poca luz en la parte basal de la planta y, como consecuencia, el macollamiento es mínimo y muchos de los tallos formados se mueren. A partir del quinto mes, el número de tallos permanece más o menos estable (Figura 19).

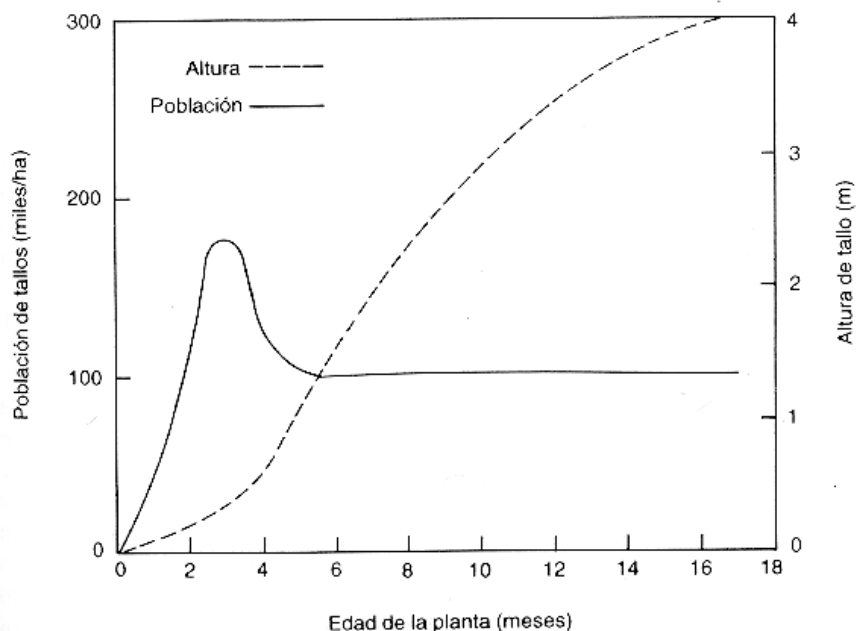


Figura 19. Cambios con la edad en la población y en la altura de la planta de caña de azúcar.

El déficit de agua durante el período de macollamiento reduce el número de tallos; sin embargo, si el déficit no es severo, este efecto, generalmente, desaparece una vez se regula el suministro de agua. También se ha observado que las aplicaciones de nitrógeno estimulan el macollamiento.

Entre el cuarto y el quinto mes, los tallos presentan un alargamiento rápido, pero la tasa de éste disminuye en forma paulatina a medida que aumenta la edad del cultivo (Figura 19). Durante la época de máximo alargamiento, la tasa normal de crecimiento es de 1.25 cm/día. No obstante, en la zona tropical de Java se han encontrado tasas de crecimiento de 2.3 cm/día (Van Dillewijn, 1952), y en las zonas subtropicales de Louisiana y Queensland puede llegar a 3 cm/día durante la época de verano (Irvine et al., 1968).

En Louisiana, Irvine et al. (1968) encontraron que la tasa de alargamiento del tallo de la caña estaba relacionada con la temperatura media del aire ( $r = 0.86$ ) y no era afectada por el déficit de agua. En la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca, la temperatura media del aire fluctúa poco durante el año; por lo tanto, su efecto en el crecimiento de la caña no parece ser de importancia; por otra parte, se ha observado que el déficit de agua causa una disminución significativa en el alargamiento de los tallos (Figura 20).

**Índice de área foliar.** El índice de área foliar (IAF), un parámetro fundamental para la determinación de la productividad, se define como el área foliar por unidad de superficie del suelo. La fotosíntesis total por unidad de

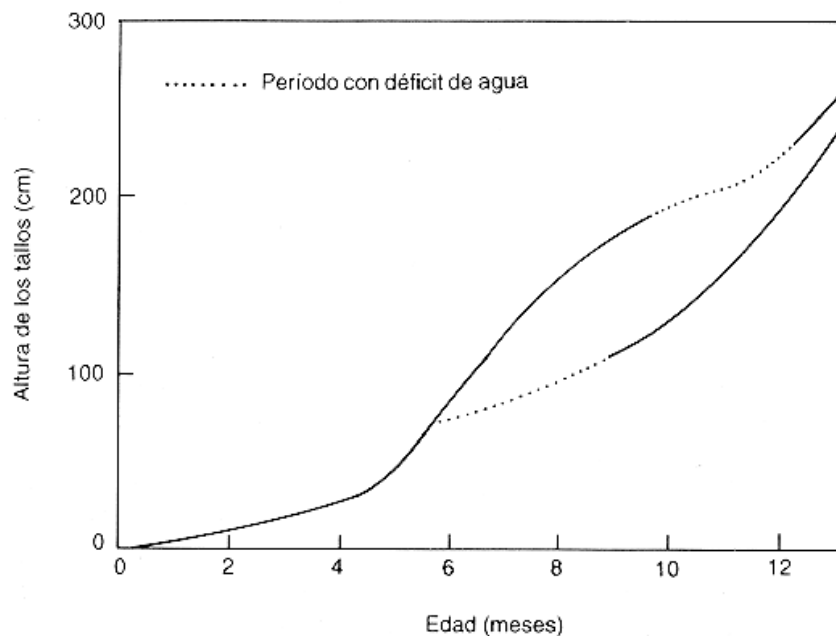


Figura 20. Efecto del déficit de agua sobre el crecimiento de la planta de caña de azúcar.

superficie del suelo se determina por la eficiencia de conversión de la energía solar multiplicada por la cantidad de energía solar interceptada por las hojas. La interceptación de la energía solar es una función logarítmica del IAF. En un cultivo como la caña se requiere un IAF con un valor entre cuatro y seis para interceptar 90% de la radiación solar; en este rango se maximiza la tasa de crecimiento, sin mantener un exceso de follaje.

El valor máximo de IAF encontrado en caña es de ocho (Irvine, 1983). En Colombia, las mediciones preliminares indican que los valores de IAF varían entre cuatro y siete, en cultivos de 8 a 9 meses de edad. En general, el valor más alto se obtiene en el cultivo de plantilla.

El IAF es determinado por la tasa de formación de hojas por tallo, el número, el tamaño y la longevidad de éstas, y por el número de tallos; todas estas características cambian con las variedades y las condiciones en las cuales se cultivan. En las condiciones más favorables de la zona azucarera de Colombia, los tallos producen una hoja nueva cada semana o cada 2; mientras que su longevidad en plantas jóvenes es corta, generalmente menor de 1 mes, en plantas más viejas pueden durar hasta 5 meses. En las investigaciones de CENICAÑA se ha observado que las hojas de la variedad V 71-51 a la edad de 7 meses, pueden tener una longevidad hasta de 140 días.

El área de la hoja aumenta con la edad de la planta y alcanza su máximo valor a los 9 meses de edad, pero luego decrece si las condiciones no son favorables (Irvine, 1983). En la estación CENICAÑA, Valle del Cauca, el área foliar máxima observada es de 850 cm<sup>2</sup> en hojas de la variedad CENICAÑA Colombia (CC) 83-25 de 8 meses de edad. A esta misma edad, el tamaño de las hojas en otras variedades se encontró entre 550 y 680 cm<sup>2</sup>.

**Acumulación de sacarosa.** En la caña, los azúcares se translocan principalmente en forma de sacarosa; otros compuestos, como las hexosas, también pueden entrar en el flujo de translocación, donde se convierten en sacarosa. La sacarosa que se transloca desde la hoja pasa por la yagua y llega al tallo. Por este último desciende hasta las raíces, sube a las nuevas hojas, o pasa a otros tallos más jóvenes. El transporte de los azúcares es más rápido hacia abajo que hacia arriba.

La teoría clásica sugiere que la sacarosa, una vez se transloca a los tejidos parenquimatosos de los tallos, se invierte a glucosa y fructosa por acción de la invertasa ácida localizada en la pared celular. Las hexosas entran al citoplasma por medio de difusión pasiva y se convierten en fosfato de sacarosa y, en esta forma, pasan a la vacuola. Este último paso ocurre en contra del gradiente de concentración de sacarosa; por lo tanto, es un proceso activo en el cual la energía proviene del rompimiento de la unión sacarosa-fosfato. Sin embargo, los resultados en Hawaii y Texas sugieren que la sacarosa puede atravesar directamente las membranas celulares sin ser hidrolizada ni resintetizada.

El proceso de acumulación de sacarosa es similar en los tejidos maduros o inmaduros. Sin embargo, en estos últimos la actividad de la invertasa ácida es alta

y la sacarosa puede ser hidrolizada para formar hexosas, que son translocadas al citoplasma para ser metabolizadas en los procesos de crecimiento y desarrollo. En tejidos maduros, la actividad de las invertasas es menor y la sacarosa permanece almacenada. En plantas jóvenes, la concentración de sacarosa en base seca es inferior a 10%, y en plantas maduras llega hasta 50% o más del peso seco de caña limpia. Durante el proceso de acumulación de sacarosa, el contenido de agua disminuye de 85% hasta 70%, aproximadamente.

La acumulación de sacarosa ocurre principalmente en los entrenudos y se inicia en la parte basal de cada uno de ellos. La concentración se inicia en los nudos de la base del tallo y origina un gradiente de mayor concentración en esta parte de la planta.

Durante el período de máximo crecimiento, la acumulación de sacarosa puede llegar al 35% de los asimilados acumulados por la planta, mientras que durante el período de maduración puede alcanzar el 65%. Es importante señalar que las condiciones favorables para la fotosíntesis, pero no para la elongación de los tallos, aumentan la proporción de los asimilados que se convierten en sacarosa almacenada en la vacuola. El uso de madurantes como glifosato (Roundup), reduce el alargamiento de los tallos sin perjudicar la fotosíntesis en forma significativa; al mismo tiempo, causa una reducción en la actividad de la invertasa ácida, lo cual puede también conducir a una mayor acumulación de sacarosa.

**Condiciones ambientales y crecimiento de la planta.** El rango óptimo de temperatura para el crecimiento de la caña se encuentra entre 26 y 30 °C, el cual es ligeramente superior al promedio de temperatura en la zona azucarera de Colombia. Las temperaturas inferiores a 21 °C retardan el crecimiento de los tallos y conducen al aumento de sacarosa. Por otra parte, se considera que los cambios grandes entre las temperaturas máxima diurna y mínima nocturna estimulan una mayor concentración de sacarosa. El análisis de los rendimientos durante 8 años en la zona azucarera colombiana, mostró que existe una correlación entre la temperatura mínima mensual y el rendimiento de azúcar en fábrica (Cock et al., 1993). Sin embargo, hay que destacar que en condiciones tropicales, las bajas temperaturas nocturnas, muchas veces, se relacionan con días despejados que favorecen la alta radiación solar lo cual, también, puede favorecer las altas concentraciones de sacarosa.

Cuando no existen factores limitativos, la producción de biomasa total de un cultivo está directamente relacionada con la radiación solar que éste intercepta. Por lo tanto, al aumentar la radiación solar, es mayor la producción de biomasa. En el cultivo de la caña de azúcar, la alta radiación favorece la concentración de sacarosa, como se mencionó anteriormente.

La caña de azúcar es sensible a los cambios en el fotoperíodo, especialmente a la disminución en la longitud del día cuando esta es larga, lo cual estimula la floración de la planta. Así, en las condiciones de la zona azucarera de Colombia, el estímulo de la floración ocurre al inicio del segundo semestre y se manifiesta en los últimos meses del año. Aunque la inducción de la floración está relacionada con el fotoperíodo, su intensidad depende del suministro de agua, siendo mayor

cuando la lluvia es adecuada o se aplica riego. La floración detiene el desarrollo de los tallos, ya que éstos no producen nuevas hojas. Por lo tanto, la floración, a corto plazo, puede aumentar el contenido de sacarosa, pero, a largo plazo, puede resultar en menos producción de biomasa y en aumentos en el contenido de fibra.

Entre los factores ambientales que influyen en el crecimiento de la planta de caña de azúcar, la disponibilidad de agua es, quizás, el más susceptible a modificaciones por parte del agricultor. Su déficit o exceso pueden tener efectos detrimentales en el desarrollo del cultivo. En las condiciones de la zona azucarera de Colombia, el nivel freático por debajo de 1.2 m de profundidad causa una disminución significativa en la producción de biomasa, pero, a veces, esta condición aumenta el contenido de sacarosa, debido a que la planta sufre cierto grado de estrés. Por otra parte, el déficit de agua también afecta la producción, especialmente cuando ocurre en los últimos meses de desarrollo, ya que favorece el agostamiento, frenando el crecimiento y aumentando el contenido de sacarosa. El análisis de la información recolectada durante 8 años por CENICAÑA, mostró que existe una correlación negativa entre el rendimiento mensual de la caña y la precipitación que ocurrió durante los 2 meses anteriores a la cosecha.

Los estudios efectuados en CENICAÑA, muestran que las hojas de la caña en el proceso de fotosíntesis tienen una eficiencia de uso de agua de 3.5 a 4.0  $\mu\text{moles}$  de  $\text{CO}_2/\mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}/\text{ha}$ , lo que equivale a una relación de 6 a 7 toneladas de carbohidratos por cada 1000  $\text{m}^3$  de agua. Si se asume que en el proceso de respiración se pierde el 40% de la fotosíntesis, que por cada tonelada de tallos secos de caña hay 1.35 toneladas de biomasa seca (tallos + hojas) y que la caña tiene un contenido de agua de 30% (Irvine, 1983), se puede estimar que para producir 120 de biomasa de caña por hectárea, se requieren, aproximadamente, 1500 mm de agua. Este estimativo concuerda con los datos experimentales sobre el uso del agua en los cultivos de caña e indica que, en muchas zonas de la parte plana del valle geográfico del río Cauca, ocurren déficits de agua en algunos meses del año.

Hasta hace poco tiempo, se consideraba que el contenido de agua en el suelo determinaba la existencia de un estrés hídrico en el cultivo o, más bien, el potencial hídrico del suelo se reflejaba en cambios en el potencial hídrico de las hojas el cual, a su vez, determinaba la abertura de las estomas. Sin embargo, Meinzer y Grantz (1990) recientemente observaron cambios en la abertura de los estomas sin cambios apreciables en el potencial hídrico de las hojas. Estos investigadores propusieron la presencia en la savia de las hojas de sustancias que son producidas en las raíces, según el estado hídrico de éstas y su contorno inmediato; estas sustancias estarían muy relacionadas con la conductividad hidráulica de las raíces y del suelo. De esta manera, bajo iguales condiciones de humedad en el suelo, en plantas maduras los estomas estarían más cerrados que en plantas jóvenes. Este efecto podría explicar, en parte, las bajas tasas de fotosíntesis en las plantas de mayor edad que aparecen en la Figura 16. Como resultado de estos procesos, la transpiración foliar de la planta varía muy poco dentro de un rango amplio de valores de área por planta (Figura 21).

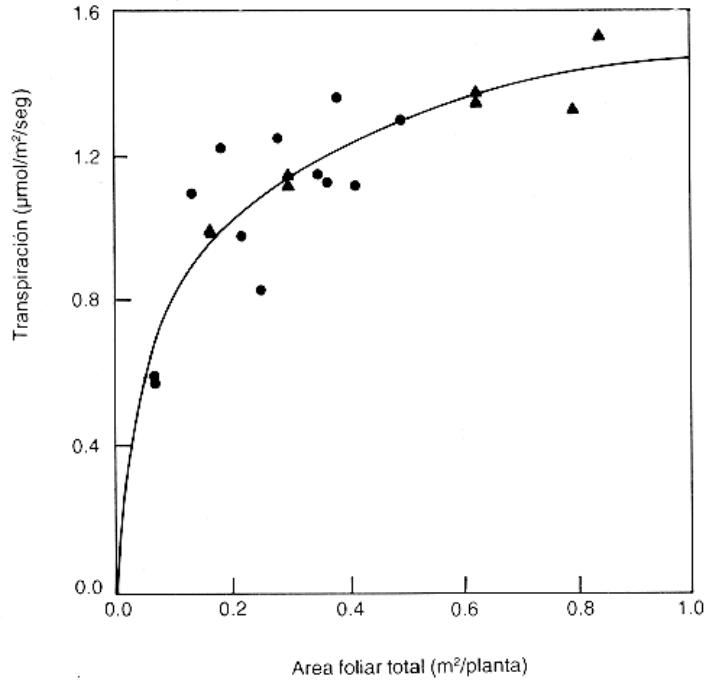


Figura 21. Relación entre la tasa máxima de transpiración y el área foliar total para plantas de caña cultivadas en el campo (▲) y en el invernadero (●). (Adaptado de: Meizner y Grantz, 1990).

Grantz y Meizner 1990) mostraron que existe un efecto directo de la diferencia (hoja-aire) de presión de vapor de aire ( $V$ ) sobre la abertura de los estomas, aunque este efecto, muchas veces, es enmascarado por la alta covarianza de  $V$  con otras variables que afectan la conductancia de los estomas. Como resultado del efecto directo de  $V$  sobre la conductancia de los estomas, puede ocurrir una disminución en la fotosíntesis y, por ende, en el crecimiento.

Esto sucede en condiciones de baja humedad relativa del aire, aun cuando la humedad del suelo se mantenga constante por la aplicación de riego o por niveles freáticos altos. Es posible que lo anterior explique los altos rendimientos obtenidos por la industria azucarera colombiana en 1991 y 1992, años que fueron excepcionalmente secos.

## Componentes de producción de la caña de azúcar

El azúcar recuperable producido por unidad de área y de tiempo es el producto económicamente útil de la caña. La cantidad de este azúcar depende de la producción de tallos y del contenido de sacarosa en los mismos. Los tallos

representan entre el 50% y el 80% de la biomasa total que existe sobre el nivel del suelo al momento de la cosecha. La información sobre las producciones máximas a nivel comercial es escasa, pues la mayoría de las veces se presentan únicamente los promedios de rendimiento. Se sabe que las máximas producciones comerciales de caña por hectárea y por año fluctúan entre 140 toneladas en la región de Burdekin, Australia, y más de 200 toneladas en el valle geográfico del río Cauca.

En los estudios sobre los componentes de producción de caña y de azúcar efectuados en la mayoría de los países que tienen programas de selección de variedades, se ha encontrado que el número de tallos por unidad de área y la longitud de éstos, son los componentes más importantes de la producción de caña y de azúcar (Brown et al., 1969; Miller, 1977; Kang et al., 1983; CENICAÑA, 1984). Milligan et al. (1990) encontraron en el primer corte que el diámetro de los tallos de la caña es más importante que su longitud; sin embargo, a medida que se sucedieron los cortes, el número de tallos fue la característica más importante. Esto indica que la capacidad de producción en las socas es altamente dependiente de la población de tallos.

En el valle geográfico del río Cauca, cuando se compararon cinco variedades en ocho sitios diferentes, la correlación entre el número de tallos a los 5 meses y la producción de caña fue significativa ( $r = 0.30$ ,  $P < 0.0001$ ). Sin embargo, dentro de cada variedad las correlaciones fueron significativas sólo para dos de ellas. El rango de correlación fluctuó desde  $r = 0.065$  para la variedad CP 57603 hasta  $r = 0.531$  ( $P < 0.0001$ ) para la variedad EPC 38122. Los mayores valores de correlación entre las mismas variables ( $r = 0.63$  hasta  $0.84$ ,  $P < 0.0001$ ), se obtuvieron cuando la evaluación se hizo con muchos genotipos en diferentes estados del proceso de selección, a edades próximas a la cosecha (CENICAÑA, 1985). En zonas subtropicales la correlación más alta encontrada entre las mismas variables fue de  $r = 0.96$  (Matherne e Irvine, 1978).

El contenido de sacarosa es otro de los componentes importantes de la producción final de azúcar, y está altamente correlacionado con el brix (un indicativo de los sólidos totales en el jugo), con la pureza y con la densidad del jugo. Estas correlaciones han sido consistentes a través de los cortes del cultivo (Milligan et al., 1990). Tai et al. (1982), al evaluar 11 variedades durante tres cortes, encontraron correlaciones de  $r = 0.62$  entre sacarosa y brix, y de  $r = 0.89$  entre sacarosa y pureza. Sin embargo, no encontraron correlación entre el brix y la producción de azúcar, y las correlaciones entre pureza y sacarosa con producción de azúcar fueron relativamente bajas ( $r = 0.38$  y  $0.46$ , respectivamente). Resultados similares obtuvieron Gravois et al. (1991) en Louisiana cuando evaluaron progenies de 20 cruzamientos. Lo anterior indica que para la producción total de azúcar por área, los componentes vegetativos (número, longitud y diámetro de los tallos) y la eficiencia de extracción en fábrica son más importantes que la calidad de los jugos. Kang et al. (1983), en 105 clones provenientes de dos cruzamientos, encontraron que el brix y la pureza se correlacionaron en forma similar con el porcentaje de sacarosa ( $r = 0.89$ ,  $P < 0.0001$ ) y, a su vez, cada uno de los tres caracteres se correlacionó en forma similar con la producción de azúcar ( $r = 0.51$  a  $0.67$ ,  $P < 0.0001$ ).

La correlación entre sacarosa y producción de caña, encontrada en el germoplasma evaluado en el valle geográfico del río Cauca, es inconsistente o relativamente baja (Amaya y Cassalet, 1984; CENICAÑA, 1985). Debido a que la producción de caña y el número de tallos están altamente correlacionados con la producción total de azúcar, el avance en la selección de variedades para esta última característica es más fácil con base en el número de tallos y no a través de selección por mayor contenido de sacarosa; sin embargo, es posible mantener contenidos aceptables de sacarosa en variedades con alto tonelaje, debido a la baja correlación entre producción de caña y contenido de sacarosa. En el germoplasma existente en la región, la heredabilidad para concentración de sacarosa es similar a la heredabilidad para producción de caña (CENICAÑA, 1985; Salazar, 1992), lo cual ofrece un alto potencial de mejoramiento con ambas características y para su combinación en nuevas variedades.

La fibra es la materia seca insoluble en agua, se conoce como bagazo y en algunas partes es un componente importante de la producción. En el proceso de molienda, las variedades con alto contenido de fibra presentan una menor extracción y un mayor costo de energía, en relación con variedades de baja fibra (Yang et al., 1987). Los contenidos aceptables de fibra fluctúan entre 12% y 14%. En el germoplasma de caña evaluado en el valle geográfico del río Cauca, este rango fluctúa entre 11.2% y 27.6% (Pino y Ruiz, 1991). En la industria, el bagazo se usa como combustible en los ingenios o para producir papel; por lo tanto, las variedades con bajos contenidos de fibra no son deseables en la industria azucarera colombiana. Cuando la determinación de la fibra se basa en el tejido total del tallo, la relación entre el contenido de fibra y el de sacarosa no es consistente (Pino y Ruiz, 1991; CENICAÑA, 1983 a 1991). Gravois y Milligan (1992), al estudiar las relaciones genéticas entre fibra del tejido total del tallo y los componentes principales de producción de caña encontraron, por el método de relación causa-efecto, un efecto negativo (-0.23) del contenido de fibra en el azúcar recuperable estimado, lo cual sugiere una relación inversa entre estos dos caracteres. Por otro lado, la correlación entre la fibra y el diámetro de los tallos fue significativa ( $r = 0.515$ ,  $P < 0.0001$ ), lo que indica que la selección indirecta por tallos gruesos puede disminuir el contenido de fibra. Sin embargo, los estudios anatómicos del tallo indican que el contenido de fibra no está relacionado con la producción de sacarosa, cuando la fibra se determina en el tejido total del tallo, pero sí cuando la fibra se determina solamente en el tejido de almacenamiento (Oworu et al., 1977).

## Referencias

- Alexander, A. G. 1973. *Sugarcane Physiology*. Elsevier, Amsterdam, 752 p.
- Amaya, A. y Cassalet, C. 1984. Estabilidad fenotípica de variedades de caña de azúcar en el Valle del Cauca-Colombia. En: C.E. Buenaventura (ed.) *Memorias Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar*. (TECNICAÑA). Cali. Editorial XYZ. Cali. p. 57-74.

## Biología

- Artschwager, E. y Brandes, E. W. 1958. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.): Origin, classification, characteristics, and descriptions of representative clones. U.S. Dep. Agric. Handbook 122. 307 p.
- Blackburn, F. 1991. Sugarcane. Tropical Agricultural Series. Longman Group, Essex. Reino Unido.
- Brown, A. H., Daniels, J.; y Latter H. D.. 1969. Quantitative genetics of sugarcane. II. correlation analysis of continuous characters in relation to hybrid sugarcane breeding. *Theor. Appl. Genet.* 39:1-10.
- Bull, T. A. 1969. Photosynthetic efficiencies and photorespiration in Calvin cycle and C<sub>4</sub>-Dicarboxylic acid plants. *Crop Sci.* 9:726-729
- \_\_\_\_\_ y Tovey, D. A. 1974. Aspects of modelling sugarcane growth by computer simulation. *Proc. Int. Soc. Sugarcane Technol. (ISSCT)* 15:1021-1032.
- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1982. Informe anual 1981. Cali; Colombia. 207 p.
- \_\_\_\_\_. 1983. Informe anual 1982. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1984. Informe anual 1983. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1985. Informe anual 1984. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1986. Informe anual 1985. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1987. Informe anual 1986. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1988. Informe anual 1987. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1989. Informe anual 1988. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1990. Informe anual 1989. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1993. Informe anual 1992. Programa de Variedades. Cali, Colombia.
- Clemnts, H. F. y Ghotb, A. 1969. The numbering of leaves and internodes for sugarcane nutrition studies. *Proc. Int. Soc. Sugarcane Technol.* 13:569-584.
- Cock, J. H.; Luna, C. A.; y Palma, A. 1993. El clima y el rendimiento en caña de azúcar. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie técnica no. 12. 70 p.
- Domínguez, P. S. 1990. Comportamiento del sistema radical de tres variedades de caña de azúcar *Saccharum* spp. en tres suelos representativos del Valle del Cauca. Tesis de Magister. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional de Colombia. Palmira. p.
- Fernández, A. C. y Benda, T. A. 1985. Distribution patterns of brix and fibre in the primary stalk of sugarcane. *Sugarcane* 5:8-13.
- Grantz, D. A. y Meizner, F. C. 1990. Stomatal response to humidity in a sugarcane field: Simultaneous porometric and micrometeorological measurements. *Plant and Cell Environ.* 13:27-37.

- \_\_\_\_\_. y \_\_\_\_\_. 1991. Regulation of transpiration in field grown sugar cane: Evaluation of the stomatal response to humidity with the Bowen ratio technique. *Agric. Forest. Meteorology* 53:169-183.
- Gravois, K. A. y Milligan, S. B. 1992. Genetic relationship between fiber and sugarcane yield components. *Crop Sci.* 32: 62-67.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. y Martin, F. A. 1991. Additive genetic effects for sugarcane yield components and implications for hybridization. *Trop. Agric.* 68(4):376-380.
- Hartt, C. E. 1963. Translocation as a factor in photosynthesis. *Naturwissenschaften* 21:666-667
- \_\_\_\_\_. y Burr, G. O. 1967. Factors affecting photosynthesis in sugarcane. *Proc. Int. Soc. Sugarcane Technol. (ISSTC)*12:590-609.
- Humbert, R.P. 1974. *El cultivo de la caña de azúcar*. Compañía Editorial Continental S.A., Mexico.
- Irvine, J. E. 1967. Photosynthesis in sugarcane varieties grown under field conditions. *Crop Sci.* 7:297-300.
- \_\_\_\_\_. 1971. Photosynthesis and stomatal behavior in sugarcane leaves as affected by light intensity and low air flow rates. *Physiol. Plant.* 24:436-440.
- \_\_\_\_\_. 1975. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. *Crop Sci.* 15:671-676.
- \_\_\_\_\_. 1983. Sugarcane. En: Potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños, Laguna, Filipinas. p.361-381
- \_\_\_\_\_. y Benda, T.A. 1979. Genetic potential and restraints in *Saccharum* as an energy source. En: A. G. Alexander (ed.). *Alternate uses of sugarcane for development in Puerto Rico*. CEER Pub. B-52:1-9 Univ. Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico.
- \_\_\_\_\_. y \_\_\_\_\_. 1980. Sugarcane spacing. II. Effects of spacing on the plant. *Proc. Int. Soc. Sugarcane Technol.* 17:357-367.
- \_\_\_\_\_.; Tippett, R. L.; y Coleman, R. E. 1968. Growth, rainfall and temperature; the effects on sugarcane in Louisiana. *Sugar Bull.* 46(24):7-13.
- Julien, M. H.; Irvine, J. E.; y Benda, T. A. 1989. Sugarcane anatomy, morphology and physiology. En: C. Ricaud et al. (ed). *Diseases of sugarcane. Major diseases*. Elsevier. Amsterdam. p. 1-20.
- Kang, M. S.; Miller, J. D.; y Tai, P. Y. 1983. Genetic and phenotypic path analyses and heritability in sugarcane. *Crop Sci.* 23:643-647.
- Kortschak, H. P. y Forbes, A. 1968. The effects of shade and age on the photosynthesis rates of sugarcane. *Prog. Photosyn. Res.* 1:383-387
- Luna, C. A.; Arias, O. L. y Cortés, M. H. 1992. Comportamiento comercial de la caña de azúcar cosechada en 1991. Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia (CENICANA). Serie técnica no. 10. 32 p.

*Biología*

- Matherne, R. J. and Irvine, J. E. 1978. The influence of row spacing on sugarcane stalk population, sugar content and cane yield. Proc. Int. Sugar Cane Technol. (ISSCT) 7:96-100.
- Meizner, F. C. y Grantz, D. A. 1990. Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane: Stomatal adjustment to water transport capacity. Plant and Cell Environ. 13:383-388.
- Miller, J. D. 1977. Combining ability and yield component analysis in a five-parent diallel cross in sugarcane. Crop Sci. 17:45-547.
- Milligan, S. B.; Gravois, K. A.; Bischoff, K. P.; y Martin, F. A. 1990. Crop effects on genetic relationships among sugarcane traits. Crop Sci. 30:927-931.
- Moore, P. H. 1974. Investigations on the flowering of *Saccharum*. II. Number of spindle leaves and date of induction. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. (ISSCT) 15:7-16.
- \_\_\_\_\_. 1987. Anatomy and morphology. En: D. J. Heinz (ed.). Sugarcane improvement through breeding. Developments in crop science. Elsevier. Nueva York. 11:85-142
- Oworu, O. O.; McDavid, C. R.; y MacColl, D. 1977. The anatomy of the storage tissue of sugarcane in relation to sugar uptake. Ann. Bot. 41:401-404.
- Paz-Vergara, J. E.; Vasquez, A.; Iglesias, W.; y Sevilla, J. C. 1980. Root development of sugarcane cultivars H328560 and H 575174 under normal conditions of cultivation and irrigation in the Chicama Valley. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. (ISSCT). 17:534-540.
- Pino, R. y Ruiz, J. A. 1990. Caracterización de las variedades del Programa de Mejoramiento del Centro de Investigación de la Caña de azúcar de Colombia (CENICAÑA). Tesis. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional de Colombia. Palmira.
- Rosario, E. L. y Musgrave, R. B. 1974. The relationship of sugar yield and its components to some physiological and morphological characters.
- Salazar, F.A. 1992. Estimación de parámetros genéticos de varianza y acción génica en algunas poblaciones híbridas de caña de azúcar. Tesis. Facultad de Biología, Universidad del Valle. Cali.
- Sam, O. 1991. cambios anatómicos del ápice del tallo de caña de azúcar en transición a la fase reproductiva. Cultivos Tropicales 12:49-56.
- SASA (South African Sugar Association Experiment Station). 1983. Annual Report 1982.
- Tai, P. Y.; Rice, E. R.; Chew, V.; y Miller, J. D. 1982. Phenotypic stability analyses of sugarcane cultivar performance tests. Crop Sci. 22:1179-1184.
- Van Dillewijn, C. 1952. Botany of sugarcane. Chronica Botanica Co., Waltham, Mass. 520 p.
- Waldron, J. C.; Glaziou, K. T.; y Bull, T. a. 1967. The physiology of sugarcane. IX. Factors affecting photosynthesis and sugar storage. Aust. J. Biol. Sci. 20:1043-1052.

- Yang, S.; Cassalet, C.; Larrahondo, J. E.; Victoria, J. I.; Cabanillas, M. E.; Porras, V.; y Castillo, C. 1987. Prueba de molienda de variedades promisorias en el Ingenio La Cabaña. En: Buenaventura, C. E (ed.). Memorias del segundo congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Editorial XYZ. Cali. p. 157-164.
- \_\_\_\_\_ y Chen, J. 1980. Germination response of Sugarcane cultivars to soil moisture and temperature. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. (ISSCT). 17:30-36.



### **Referencia bibliográfica**

AMAYA ESTÉVEZ, A.; COCK, J.H.; HERNÁNDEZ, A.; IRVINE, J. Biología. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. p.31-62.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA  
DE AZÚCAR DE COLOMBIA - CENICAÑA  
Estación Experimental: vía Cali-Florida, km 26  
Tel: (57) (2) 6648025 - Fax: (57) (2) 6641936  
Dirección postal: Calle 58 norte no. 3BN-110  
Cali, Valle del Cauca-Colombia

[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)  
[buzon@cenicana.org](mailto:buzon@cenicana.org)